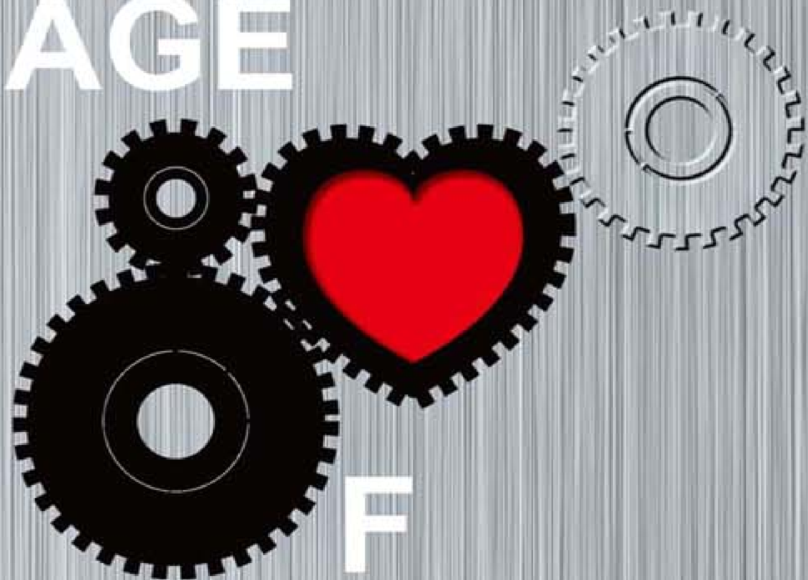
科技预言大师**雷·库兹韦尔**巅峰之作

机器之心

当计算机超越人类，机器拥有了心灵

[美] 雷·库兹韦尔（Ray Kurzweil）◎著
张温卓玛 吴纯洁 胡晓姣◎译



THE AGE OF SPIRITUAL MACHINES

When Computers Exceed Human Intelligence

与大师一起见证科技社会演变的精彩华丽篇章
阅读这本书，
让你一眼看穿一个世纪的世界



中信出版集团 · CHINACITICPRESS

版权信息

书名:机器之心

作者:雷·库兹韦尔

译者:胡晓姣 张温卓玛 吴纯洁

ISBN:9787508658964

中信出版集团制作发行



专家媒体热评

这是一部开拓思维、记录智能机器崛起的佳作……本书不亚于一幅蓝图，旨在将现代人驱离漫长进化过程的中心舞台。如果您相信库兹韦尔的“加速回报定律”——目前所有实证都验证了其正确性，那么机器势必会取代人类成为地球上的主要智慧力量。

——约翰·卡斯蒂，《自然》杂志

很棒的一本书……库兹韦尔完美演绎了我们这个时代未来学家的角色。他把未来科技的不断发展同世界联系起来，在这个世界里，人工智能和纳米技术为人类带来了不可估量的财富和寿命，对当下的我们及我们的后代都大有裨益。

——马文·明斯基，麻省理工学院媒介艺术与科学教授

《机器之心》一书让其他所有通往计算机未来的道路变成了巴塔哥尼亚的羊肠小道。

——乔治·吉尔德，《财富和贫穷》（Wealth and Poverty）

及《电视机时代之后的生活》（Life After Television）作者

全美首屈一指的创新者描绘出一个令人叹服的未来。库兹韦尔用幽默的手法诠释了严肃的科学知识，引导我们思考人类将走向何方……他以首开先河的发明和鞭辟入里的想法，深入浅出地为我们描绘了若干世纪以来这一命题最核心的部分。

——麦克·布朗，纳斯达克股票市场主席

这本书带我们领略了未来几十年后的景象……库兹韦尔广阔的知识视野和新颖的阐述方式一定会让你无法抗拒他对人工智能的乐观预期。

——《柯克斯书评》



致读者

当一粒光子穿过一排玻璃板或镜子时，其前进路线并不确定。在众多可行路线中，它有可能选择其中的任何一条（显然，这些光子没有读过罗伯特·弗罗斯特的诗《未选择的路》）。只有当一位清醒理智的观测者仔细观察光子的路线，强制规定出其行进路线时，那这个不确定的问题才会迎刃而解——逆向推论，就好像光子自始至终就认定了这条路线一般。

亲爱的读者朋友，你们就像这些光子一样，有权在这本书中选择自己的阅读路径。您可以按照我编写的目录顺序分章节阅读，或者读完前言之后觉得迫不及待地想要读一读第三部分当中介绍21世纪的章节（本书目录部分包含每一章节的内容简介）。然后，您可能会回到前面那几章，读读其中关于大自然、各种流行趋势的缘起以及21世纪即将显现出来的各种作用力等内容。又或者，您的阅读路径也如光子般总不确定。不过，读到后记部分的时候，所有的不确定都会变得明朗起来，就好像您从一开始就打算选择这样的顺序来读这本书一样。



前言

当机器超越人类并拥有了心灵

这个赌徒怎么也没想到自己会上天堂，但回想起来，他觉得自己活着的时候也算做过一些善事。这里比他想象的更好，到处都是炫目的水晶吊灯、精美的手工地毯、奢华的美味佳肴。当然，还有最美丽的女人，她们似乎对这个新来的男宾很感兴趣。他把手放在轮盘上想碰碰运气，令人惊奇的是，每一次中奖的都是他的号码。他又试了试赌桌，好运仍然眷顾着他：他赢了一把又一把。他的好手气引起了一阵骚动，让殷勤的侍者和漂亮姑娘们兴奋不已。

一天接一天，一星期接一星期地过去了，这个赌徒赢了一场又一场，累积的钱财也越来越多。每件事都顺着他的心意发展，他只负责赢。又是一星期接一星期，一月接一月过去了，这位赌徒的好运简直势不可当。

没过多久，游戏就变得有点无聊了。赌徒也不耐烦起来，赢得赌局也越来越没意义。但一切照旧，他照赢不误。直到有一天，痛苦不堪的赌徒向掌管赌局的天使求救，坦言自己再也无法忍受这一切了。毕竟，他这种人根本不属于天堂，他早就清楚自己本该属于“地狱”，而那里才是他一心想去的地方。

“但这儿就是‘地狱’。”天使回答道。

这是我儿时看过的电视剧《阴阳魔界》（The Twilight Zone）注中的一集。现在我已经想不起那一集的剧名，不过我倒乐意将它命

名为“当心自己的愿望”（Be Careful What You Wish For）。这部剧也走了同类电视剧常走的套路，解释了人类本性当中的一个悖论：我们喜欢解决问题，但又不想一下子都解决了，反正不要解决得太快。相对于解决方案来说，我们更关注问题本身。

就拿死亡来说吧。人们愿意为避免死亡付出巨大努力，竭尽所能延长生命，将“大限已到”视为无比悲惨的事。但同时我们又发现，倘若没有死亡，活着仿佛也很艰难。死亡赋予生命特殊的意义，让我们懂得珍惜光阴。倘若时间太过充裕，那光阴也会失去意义。假如确实能够将死亡延后，那么人类的灵魂就会像《阴阳魔界》中的赌徒一般沉闷无趣。

我们还未面对过这样的窘境，现在的我们既无须担心死亡，也无须顾虑人类面临的麻烦。极少有人承认20世纪给我们留下诸多好处。信息技术的进步必然促进社会的繁荣发展，但人类今天仍然面临着一些问题和困难，自从这些问题和困难有历史记录以来，人类就一直在努力解决，却始终未果。

21世纪将与以往有所不同，人类将携手其创造的计算机技术共同解决由来已久的需求问题（只要不是性欲就好说），并且能改变后生物时代未来的死亡率。我们是否拥有足够的心理准备去迎接等待我们的所有美好事物呢？也许还没有，但或许我们很快就会有了。

在21世纪结束之前，人类将不再是地球上最有智慧和能力的物种。好吧，让我暂且收回这句话。上面这句话正确与否取决于我们如何定义“人类”。我们要认清两个世纪之间最关键的差异所在：21世纪的政治问题和哲学问题将主要研究到底如何定义“人类”。[注]

不过我考虑得太远了。20世纪已经见证了太多技术变革以及随之出现的社会动荡，就在19世纪的最后一年——1899年时，还几乎没有人能预见到这一点。变革的步伐正在加快，从“发明”这一概念诞生

的那一刻起就在不断加速（本书第一章会提到，这种加速度正是技术的固有特征）。21世纪头20年的转变会比整个20世纪的转变更大。然而，如果要领略21世纪将带领我们走向何方，还得回过头来从1999年开始看起。

向21世纪过渡

现如今，计算机在很多方面的智能都超越了人类智能，但这种优势仅限于个别领域，比如下棋、诊断某些身体状况、购买并销售股票、为巡航导弹导向等。整体来看，人类智能更为灵活。计算机仍然无法描述厨房餐桌上的各种物件，不能撰写电影总结，不会系鞋带，无法辨别猫和狗的差异（不过我相信，有了当代神经网络——计算机模仿人类神经元建立的模型，电脑将很快具备这一技能）注，无法领会幽默，也无法完成人类擅长的精工细活。

存在这种能力差异的原因之一是最先进的计算机也比人类大脑简单——就复杂性而言，目前后者是前者的约100万倍（若采用的假设不同，可以增减一两个数量级）。但到21世纪初，这种能力差异将越来越小。20世纪伊始，计算机的速度每三年就增加一倍，到了20世纪五六十年代，每两年就增加一倍，现在每一年就增加一倍。这种趋势将一直延续到2020年，届时，计算机的存储容量和计算速度便可与人脑一较高低。

但是，即便计算机的复杂性和容量与人脑相当，也仍然无法与人类智能的灵活性相媲美。这些资源的组织和内涵——智能的软件同样重要。模仿大脑软件的方法之一是使用逆向工程法——扫描人类的大脑（这项技术在21世纪将成为现实），并在一种内存充足的神经计算机（这种经过特殊设计的计算机可以模拟数量庞大的人类神经元）当中复制大脑的神经电路。

机器极有潜力达到人类的智能水平，我们可以结合大量并行神经网络和其他计算模式对系统进行训练和演化，使其能理解语言和模型，包括阅读理解文字文件的能力。虽然如今的计算机从自然语言文件中汲取并学习知识的能力十分有限，但它们在这一领域的能力正迅速提升。到21世纪20年代时，计算机将能够自主阅读，能理解并模仿听见的话语。届时我们便可让电脑博览世界文学作品，包括书籍、杂志、科技期刊及其他各种可阅读的材料。最后，机器将大胆挺进物质世界，从各类媒体及资讯服务业中获取信息，并同其他计算机共享这些信息（机器要比制造它们的人类更容易做到这一点），从而自主收集获取知识。

一旦计算机的智能与人类相当，它就势必会有超过人类智慧的一天。从诞生之日起，计算机在存储和处理信息方面的能力就超越了人类大脑的敏捷度。计算机可以精确地存储数十亿甚至数万亿条信息，但人类却连准确地记住电话号码都难做到。计算机可以在不到一秒钟的时间里从数十亿条记录当中检索一个数据库并随时共享知识库。如果把一台智能水平与人类智能相当的机器与电脑在速度、精确性以及存储共享能力方面的优越性能结合起来，那么这台机器一定所向披靡。

哺乳动物拥有令人惊叹的神经元，但人类的神经元构造与它们并不完全一样。哺乳动物神经元的复杂性的主要作用体现在支持主体生命过程方面，其对处理信息的能力则作用甚微。此外，神经元速度极慢，电子电路的速度至少比它快100万倍。如果计算机在理解抽象概念、识别图形与其他属性方面与人类智力水平相当，那它就可以把这种能力运用到所有人类习得的以及机器习得的知识库当中。

然而人们对于计算机将同人类智能一决高下这一假设置若罔闻，因为人们对它们目前的能力持怀疑态度。毕竟，我自己用电脑时也发现，如果它真有什么智能的话，那这种智能似乎也是非常有限且不可

靠的。很难想象某人的电脑有幽默感、有主见或者表现出其他人类思想具有的那种讨人喜欢的品质。

但计算机技术目前的发展水平并非停滞不前。一二十年前，很难想象计算机会有今天的能力。比如，今天的计算机可以精确地转录语音内容，能够理解并回应自然语言，能够识别医疗进程中的模式信息（如心电图及血液检查，其精确性可以同人类医生相匹敌），当然，还可以同世界冠军级别的选手对弈。在下一个10年中，我们将看到翻译电话，实现一种语言到另一种语言的实时翻译，计算机化的智能个人助手可以迅速搜索并理解全球知识库中的内容，我们还会见识许多其他具备更多智能的机器。

到21世纪20年代，判断人类智能和机器智能究竟谁更胜一筹会越来越难。一方面，计算机智能在速度、精确性及容量大小等方面的优势不言而喻；另一方面，人类智能的优势到底体现在何处也变得越来越难说清了。

计算机软件技术的优势已经远远超出很多人的想象。我常常有这种体会，向人们展示计算机在语音和文字识别领域的研究进展时，大家纷纷对其当前发展的水平讶异不已。举例来说，一位典型的计算机用户最近一次使用语音识别技术时的体验可能是这样的：这种语音识别技术是很多年前的一个捆绑软件，可免费使用但极其低端，能够识别的词汇有限，还需要在字与字之间有所停顿，而且常常出错。那么，这些用户体验了现代最新语音识别系统之后一定会大吃一惊，该系统可以完整识别出60 000字不间断的语音讲话，其精确性可以同人类打字员相媲美。

还要记住一点，计算机智能正悄悄赶超人类智能。举个简单的例子，1990年国际象棋大师加里·卡斯帕罗夫信心满满地宣称计算机永远不会击败他，连想都别想。毕竟，他曾与最先进的计算机对弈，而那些计算机下象棋的能力根本无法与他相提并论。但计算机下棋的技

术正在稳步提升，每年可以收获45个小数分。1997年，计算机击败了卡斯帕罗夫，至少在下棋这一方面战胜了他。一直以来，很多评论认为除了下棋之外，人类活动还有许多值得计算机模仿学习。确实如此，在很多领域——比如利用计算机创作一本书，计算机的能力仍然很逊色。但是计算机的这种能力正持续以指数级的速度增长，我们将在其他领域体验到卡斯帕罗夫当年的感受。在接下来的几十年里，机器的能力将匹敌并终将赶超任何一种人类技能，包括人类最了不起的能力——在错综复杂的环境中思考的能力。

一直以来，人们都习惯把进化视为一出有着10亿年历史的戏剧，剧情发展的最后结局和最高形式就是人类智能。21世纪初地球上出现的新型智能将会与人类智能相抗衡，最终会大大超过人类智能，并将成为塑造人类历史的所有事件中意义重大的一件，其重要性绝不亚于人类智能的产生，也会对人类活动的各个方面产生深远影响，比如工作性质、人类学习、政府、战争、艺术以及人类的自我认知等方面。

目前这样的功能还没有实现。但随着计算机的出现——其复杂性的确可以与人脑媲美，甚至胜出一筹，机器一定会具备相应的能力来理解那些抽象和微妙的含义并对此做出回应。人类看上去很复杂，部分原因是因为相互竞争的内在目标。价值观和情感代表了经常相互冲突的目标，也是我们作为人类处理抽象层面的事物时不可避免的副产品。因为计算机的复杂性可以与人类智能相媲美甚至超越人类，而且它们是从人类智能的模型当中衍生出来的，所以，它们必然也可以运用价值观和情感等手段实现各种目标，只是其价值观和情感未必和人类的相同罢了。

与此同时，很多哲学问题也随之出现。计算机究竟是在思考还是只是在做计算而已？反过来看，人类到底是在思考还是在做计算？人脑遵循的大概是各项物理法则，因此肯定也是台机器，不过是比较复杂的机器而已。人类思考和机器思考之间是否有本质上的差异？或者

可以换个问法，一旦计算机和人脑一样复杂，可以像人脑一样捕捉到微妙复杂的想法，是否可以认为它们有意识？这样的问题能提出来已难能可贵，有些哲学家认为这个问题没有意义，而另外一些人则认为这是哲学当中唯一有意义的问题。事实上，该问题可以追溯到柏拉图时期，但由于机器的出现（它们似乎确实具有意志和情感），这个问题似乎变得更引人注目了。

比如说，如果一个21世纪的人采用无创扫描技术（例如先进的磁共振成像技术）做了一次大脑扫描，然后把思维下载到他的个人电脑里，那么出现在他电脑里的“人”是否和接受扫描的人具有相同的意识？电脑里的“人”也许会颇具说服力地向你讲述“他”在布鲁克林长大，在马萨诸塞州上大学，在这里走进了扫描仪，然后在这台电脑里苏醒过来。那么刚才接受扫描的那个人就会承认电脑里的这个“人”确实同他一样，他们有着同样的过去、知识、记忆和性格，但这个“人”只是个冒充他的“赝品”，并不是他本人。

即使我们限定讨论范围，只探讨并非从某个特定人脑中衍生出来的计算机（的表现），它们也会日益拥有自己的性格，证明它们也有我们称之为情感的反应，它们还会表达自己的目标和意图。这些计算机似乎还会拥有自由的意志，它们会提出心灵体验的要求，而那些仍然使用碳基神经元或其他神经元的人将对它们信任有加。

我们经常读到有关未来几十年预言的书籍，这些预言探讨了各种人口趋势、经济走向和政治潮流，却忽略了那些有自我观点和议事日程的机器将带来的革命性影响。我们还是需要仔细思考能够全方位同人类思想相匹敌的力量出现，它们的出现是缓慢的，却势不可当，这样，我们才能全面理解未来世界。

---

1. 关于电视剧《阴阳魔界》的这部分情节回忆大体是没错的，更确切地说来，剧中的赌徒其实是个叫洛基·瓦伦丁的业余小偷，与作者回忆相关的场景出现在《阴阳魔界》

第一季第28集“好去处”（A Good Place to Visit，于1960年4月15日播出，我也是前言写毕才了解到确切的信息）。

剧集开头有这样一段独白：“他在工作，于他而言，这是他唯一从事的工作，也是唯一知晓的工作。他叫亨利·弗朗西斯·瓦伦丁，但他称自己为洛基，因为这个名字更符合他的生活状态——如同行走在洛基山脉般，路途崎岖坎坷，艰险漫长，亡命天涯……”

瓦伦丁在抢劫一家当铺的过程中被警察当场击毙。再次醒来时，他遇到了阴界向导皮普，皮普承诺可以给他想要的一切。抱着怀疑的态度，瓦伦丁向皮普索要了100万美元和一位美女，结果他真的得到了这一切。之后他去赌场撒手豪赌，赢了一把又一把，身边围满了美女为他欢呼。

然而，赌局的常胜渐渐变得乏味了起来，瓦伦丁厌倦了赌场里的一切，跟皮普坦白赌局的常胜枯燥无味，这般天堂不该是他待的地方，并乞求皮普带他去“地狱”。皮普邪恶地看着他，回答道：“这儿就是‘地狱’!”剧集梗概改编自Marc Scott Zicree, The Twilight Zone Companion（Toronto: Bantam Books, 1982, 113－115）。

2. 20世纪最基本的政治和哲学问题分别是什么？其一关乎意识形态：右派（即法西斯主义）和左派（即共产主义）遇上资本主义和民主政治，并受其冲击。其二关乎技术崛起，它始于19世纪，兴于20世纪。虽然在过去人们不断尝试赋予所有物种以特定的权益，但“人类由什么组成”仍未成为基本问题之一（除非涉及堕胎）。

3. 在第六章“茶杯中的宇宙：量子技术引爆技术未来”中我们会详细讨论破坏型扫描技术，该技术将在21世纪前期投入使用。而高分辨率的无创型扫描技术仍处于研发状态，但预计到21世纪上半叶也将成为可能。

第一部分　机器之心



第一章
技术的进化：指数级增长



时间简史：时间正日益变慢

构成宇宙的是故事，而非原子。

——穆里尔·鲁凯泽

宇宙究竟是一种伟大的机制，一种复杂的计算，一种精美的对称形式，一个巨大的意外，还是一种伟大的思想？

——约翰·D·巴罗

正如本书开始所述，我们会注意到时间本质的不寻常属性，这种属性对于我们向21世纪过渡起着关键作用。人类的故事也许起源于150亿年前，那时还不存在有意识的生命可以领略宇宙诞生的意义，但现在我们却可以回过头去仔细研究它的诞生过程。（从量子力学的角度来看，回顾过去可以这么说，如果宇宙未能进化出有意识的生命去理解它的存在，那么这种宇宙从一开始其实就没有存在过。）

宇宙诞生的10^{-43}秒之后，周边的环境冷却下来（大概有10^{34}度），于是，一种独特的力量——重力逐步形成。(注)

接下来的10^{-34}秒（这也是一秒钟当中极其微小的一部分，不过其长度却超出10^{-43}秒10亿倍）中并没有发生什么事，此刻的宇宙温度又低了一些（现在只有10^{29}度），在这种环境下，物质以电子和夸克的形式存在。为了让一切保持平衡，反物质也应运而生了。这是一个“多事之秋”，新生力量迅速进化，当时已有三种力量：重力、强作用力[注]以及电弱力[注]。

又过了10^{-10}秒之后，电弱力分裂成电磁力和其他几种现代人耳熟能详的弱作用力。[注]

10^{-5}秒之后，情况变得复杂起来。温度已经下降到相对温和的一万亿度，夸克聚集起来构成了质子和中子。同样，反夸克构成了反质子。

后来，这些物质微粒渐渐达到了平衡，但这一切究竟是如何发生的仍不得而知。至此，一切似乎都很顺利。但要是一切事物都处于平衡状态，那宇宙一定相当无趣。这样的话，生命就不会进化，我们也就可以得出这个结论——宇宙从一开始就没有存在过。

在宇宙中，每100亿个反质子对应着100亿零一个质子。质子和反质子相互碰撞，从而产生了另外一种现象：光（光子）。因此，所有的反物质都被摧毁了，只留下物质统治着整个宇宙。（这也表明，让竞争对手占有哪怕一丁点优势都是危险的。）

当然，如果当时反物质获胜的话，那么它们的子孙后代将把它们称为物质，而把物质称为反物质，因此，我们又得回到一切开始的地方（也许这才是当时的真实情况）。

一秒钟之后（跟宇宙历史上的前期过程相比，一秒钟实在是很长的一段时间，因此，要注意时间框架正在呈指数型扩大），电子和正电子（也叫阳电子）追随着质子和反质子的步伐，同它们一样互相残杀，最后电子大获全胜。

又过了一分钟，中子和质子结合成了氦、锂、重氢等质量更大的原子核。此时温度只有10亿度。

大约30万年之后（此时的事物演变速度正极速放慢），平均温度只有3 000度，原子核规整了核外电子排布之后，第一批原子便诞生了。

10亿年过后，这些原子构成了大片的云，渐渐盘旋上升，组成了各种星系。

20亿年之后，这些星系里面的物质进一步合并组成了恒星，很多恒星都有自己的星系。

30亿年后，一个普通星系中有一颗再普通不过的恒星，一颗围绕着这颗恒星运转的极其平凡的行星诞生了——我们称之为“地球”。

在继续深入探讨之前，我们一起来看看时间进程中的一个显著特点。在宇宙诞生之初，万事万物瞬息万变。在最初的10亿分之一秒内就发生了三次进化模式的变化。而后来宇宙进化的重大事件则花费了几十亿年的时间。时间的本质在于它总是呈指数型推进——要么呈几何级数加速，要么像宇宙史一样呈几何级数减速。在这段极长的时期当中，发生的大事情不多，时间看上去就像是线性推进的。因此在大部分时间里，时间主要以线性方式流逝。但这并非时间的本质。

这一点的意义何在呢？在风平浪静的漫长时期，这一点的重要性还体现不出来，但如果我们发现自己身处“时间曲线拐点”，就会明白其重大意义，在这些时期中，时间曲线的指数性质要么会向内激增，要么向外激增，就好像跌入了黑洞一般（在这种情况下，一个人跌入黑洞之后，时间会以指数级速度加速）。

时间的速度

但是稍等一下，我们凭什么说时间正在改变自身的“速度”呢？我们可以以每秒钟的进程来计算时间的速率，但是否可以说时间正在改变自身的速率呢？时间是否可以在一秒钟内完成两秒的进程呢？

爱因斯坦对这一点做出解释——时间对体验它的一切实体来说都是相对的。注一个男人的一秒钟对一个女人来说也许是40年。爱因斯坦曾举过这样一个例子，假设一个男人以接近光速的速度走向一颗星球——假设这颗星球距离地球20光年。从地球的角度来看，这段旅程往返一趟所花费的时间差不多是40年。所以当这位男士归来的时候，他妻子已经老了40岁。但是对他来说，这却是一段非常短暂的旅程。如果他以接近光速的速度向前走，也许花费的时间还不到一秒钟（从实际角度来看，我们还要考虑一些限制条件，比如时间在不摧毁他身体的情况下加速或减速）。那么这两位究竟谁的时间框架是正确的呢？爱因斯坦认为两种框架都对，且这种正确性只能相对存在。

有些鸟类的寿命只有几年时间。如果你仔细观察它们的快速运动，就会发现它们正在以另一个标准来体验时间。人类也有同样的经历。儿童的变化速率以及他所经历的时间和成年人是不一样的。值得一提的是，我们会发现进化进程中时间的加速度与宇宙诞生时时间的加速度是迥然不同的。

指数级增长的本质就是宇宙中的事物在极其漫长的时间里发展得极为缓慢，但是一旦到达时间拐点，那么事物的增长就会呈现喷跃式发展。进入21世纪以后，我们对此会有更深刻的体验。

进化：时间在加速

太初有道……道成为血肉之躯。

——《约翰福音1:1，14》

宇宙中的很多事物根本无须任何解释说明。拿大象来说，如果分子学会竞相按照自己的形象创造其他分子，那么就可以看见大象以及其他类似大象的东西遍布各地。

——英国化学家彼得·阿特金斯

回顾过去时看得越远，展望未来时也能看得更远。

——温斯顿·丘吉尔

本书后文会再次谈到时间曲线拐点的问题，但现在我们还是深入研究一下时间的指数性质吧。19世纪时，人们普遍接受了一套名为“热力学定律”的统一准则。(注)顾名思义，这些定律主要论述了热的动态特性，也是继英国物理学家牛顿完善了经典力学之后该领域的首次重大细化。但当初牛顿描述的是一个完美而有序的世界，在这个世界里，大小不一的粒子和物体都极其有序地排列着，所有运动形式都是可预见的，而热力学定律描述的却是一个混乱不堪的世界。的确，这就是热的本质。热就是一种构成世界的各种粒子混乱而不可预期的运动的原因。热力学第二定律有一个推论，即在一个封闭的系统当中（其内部实体和力量的相互作用不受外部影响，比如宇宙），无序性（也叫作“熵”）会不断增加。因此，一切都取决于这个系统自身的性质。以我们生活的这个世界为例，这个系统的运转也每况愈下，越来越混乱。很多人认为混乱简直就是自己生活的真实写照。但在19世纪，人们认为热力学定律是一个恼人的发现。19世纪初，人们似乎认为统治世界的基本原则是简单易懂且整齐有序的，虽然还有一些细节问题等待发掘探讨，但人们已经掌握了统治世界的基本原理。热力学定律的出现挑战了这种自满心理，但这还不是最终结论。

热力学第二定律有时也被称为熵增定律。熵意味着智能的自然出现似乎是不可能的。智能行为与随机行为是截然相反的，任何一个能对自身环境做出智能反应的系统都必须是极其有序的。生命的化学构造非常复杂，智能生命的化学构造尤其如此。在日益混乱的粒子和能量之中，

这个世界还是出现了一些构造非凡的生物。我们如何才能协调好智能生命的出现与熵增定律二者之间的关系呢？

这个问题有两种答案。第一种，熵增定律与进化过程似乎是矛盾的，因为进化是一个越来越有序的过程。但从本质上来说，这两种现象并不矛盾。生命的秩序是于巨大的混乱之中形成的，在生命进化这一更大的系统当中，多种生命形式的存在也并未明显影响该系统的熵测度。有机体并非一个封闭的系统，而是一个更大系统当中的一部分，我们将这个更大的系统称为环境，它的熵（无序性）很高。换言之，由于多种生命形式存在而表现出的有序性在衡量环境的总熵时根本微不足道。

因此，尽管宇宙中的无序性在增加，但进化过程却可能让复杂度和有序度同时存在并增加。[注]进化是一个过程，不是封闭的系统。它受外部影响，同时又可以对其包含的无序性善加利用。所以，熵增定律与生命和智能的出现并不冲突。

对于第二种答案，我们需要进一步探讨进化问题，因为进化是智能的缘起。

进化正呈指数级增长

正如前文所述，在宇宙诞生几十亿年以后，那颗极其普通的星球终于也形成了，它就是地球。在太阳能量的作用下，地球上的许多元素形成了越来越复杂的分子。于是，化学开始由物理学脱胎而来。

20亿年后，生命诞生了。也就是说，可以使物质和能量自身延续下来并永世不灭的模式成功地实现了永久化。然而，如此显而易见的生命重复模式直到几个世纪前才被人们发现，而且是如此非凡的发现。

随着时间的流逝，这些模式变得越发复杂，比分子链还要复杂。功能不同的分子结构组成了不同的分子群，于是，化学又衍生出了生物

学。

于是，大约34亿年前，地球上第一批有机体——厌氧（不需要氧气）原核生物（单细胞生物）诞生了，它们有使自身长期生存的基本方法。接下来形成的早期新型生命形式包括简单的遗传体系，它们能够游泳，可以进行光合作用，这些都为更高级的耗氧有机物出现打下了基础。在接下来20亿年中，最重要的发展成果就是以DNA为基础的遗传学了，从此以后，人类就可以凭借这个学科来指导并记录进化的发展了。

进化过程的关键要求之一就是将进化结果以“书面”的方式记录下来，否则这一过程将注定一直在为已经解决的问题反复寻找答案。对最早的有机物来说，这些记录写在（嵌在）它们自己的身体中，即直接编码记录在其原始细胞结构的化学属性中。而以DNA为基础的遗传学创立之后，生物进化就好像设计了一台数字计算机，记录自己的劳动成果。同时，这种设计也催生了其他更复杂的实验。7亿年前，分子集合——也叫作细胞，自身组织形成细胞群落，由此诞生了第一批多细胞动植物。在接下来的1.3亿年间，现代动物身体的基本构架进化完成，包括以脊髓为基础的骨架，这种构造使得早期的鱼类具备了高速游泳的能力。

因此，虽然生物进化历经几十亿年的时间才创造出第一批原始细胞，但随后的几亿年间，许多重大事件相继发生，进化速度骤然加快。(注)6 500万年前，恐龙在大劫难中灭绝以后，哺乳动物开始统治地球（不过昆虫们恐怕对此持有异议吧）(注)。灵长类动物出现后，进化的过程就开始以几千万年作为单位来计算。(注)大约1 500万年前出现了类人动物，其主要特征是靠后腿直立行走，此时的进化速度开始以百万年为单位来计算。(注)

大约50万年前，我们这个物种——智人诞生了，智人的大脑更大，负责理性思维的那一部分极其盘曲的大脑皮层尤其大。从遗传学的角度来看，智人同其他高级灵长类动物并没有什么差别。他们与非洲的低地大猩猩DNA相似度为98.6%，与加里曼丹岛和苏门答腊岛的红毛猩猩的DNA

相似度为97.8%。㊟自此之后，进化的故事将主要集中在由人类负责的各种进化变体（即技术）上。

技术：别样的进化

> 如果一个科学家说某件事情是可能的，那他基本上不会出错；但如果他说，某件事情是不可能的，那他就极有可能出错。
>
> 探索可能性极限的唯一方法就是再冒险一点，朝不可能的方向再迈进一小步。
>
> 所有先进的技术都与魔法无异。
>
> ——英国科幻小说家亚瑟·克拉克的“克拉克三定律”
>
> 机器和小提琴奏鸣曲或者欧几里得的定理一样，独特、辉煌而又意味深远。
>
> ——古典历史学者格雷戈里·弗拉斯托斯

技术的发展刚好赶上进化的指数级增长，虽然智人不是唯一使用工具的动物，但创造技术的能力却是他们独有的。㊟技术不仅仅包括精工细作以及工具使用，还包括工具制作过程的记录以及工具复杂性的进步。技术要求发明创造，其自身就是另一种进化形式。技术进化过程中的“基因密码”就是由会制作工具的物种所做的记录。早期生命形式的基因密码仅由有机物自身的化学成分构成，同样，有关早期工具的书面记录也是那些工具自身的构造。后来，技术进化的“基因”又演变成书面语言记录，如今，它们通常被储存在计算机数据库中。技术本身最终总会创造新技术，而我们也正在超越我们自己。

现在我们的故事要以万年为单位来度量了。那时的地球上有许多智人的亚种。大约10万年前，欧洲及中东地区出现了尼安德特人，3.5万~4万年前，这种智人又神秘地消失了。尽管尼安德特人外形粗犷，但他们却是比较文明的物种，其文化当中包括精心准备的葬礼仪式——死者下葬时有饰品随殓，比如鲜花。现在我们还不清楚自己的智人表亲们身上究竟发生了什么，但显然他们与我们的直系智人祖先不太一样，后者大约出现在9万年前。类人动物的一些种类和亚种也开始创造技术，但只有最聪明、最上进的亚种动物才能幸存下来。这就在人类历史上建立了一种会不断自我重复的形式，即技术越发达的物种群体越能占据统治地位。也许这一趋势也不是什么好消息，因为在21世纪，智能机器将会在智能及技术复杂程度方面超越人类。

因此，大约4万年前，在所有的类人动物当中，我们的智人亚种被超越并淘汰出局了。

我们的祖先已经从早期的原始人类和人类亚种那里遗传继承了一些创新本领，比如在洞穴墙壁上记录事件、绘画、创作音乐、舞蹈、信仰宗教、发明先进的语言、生火以及制造武器等。人类花了几万年时间学会通过削尖石头的一侧来制造工具，接下来又用了几万年时间才琢磨明白把石头的两侧都削尖，锋利的边缘能让石头成为更有用的工具。然而，有一点很重要，那就是这些创新不但出现了，而且还传承了下来。在这颗星球上所有使用工具的动物中，唯有人类展示出工具运用方面的创新能力并将这种能力保持下来。

还有一点很重要，那就是技术。与孕育技术的生命形式的进化过程一样，技术本质上也是一个不断加速的过程。技术创造的地基——例如将石头的一侧磨出锋利的边缘，要花费很长时间才能得到完善，不过对于人类创造的技术来说，很长时间不过意味着几千年，不像众多生命形式的进化那样，仅是缘起过程就要几十亿年之久。

与生命形式的进化一样，随着时间的流逝，技术的发展步伐加速很快。注举例来说，19世纪的技术发展速度远远超越了前几个世纪，运河

和庞大船只的建造、铺面道路的诞生、铁路的普及、电报的发展、摄影技术、自行车、缝纫机、打字机、电话、留声机、电影、汽车等新生事物的不断涌现，当然还有爱迪生的电灯泡。21世纪头20年，技术的发展持续呈指数级增长，这一增长速度相当于整个19世纪的增速。如今，短短几年时间里就会发生很多重大转变。有很多事例可以表明这一点，其中最有代表性的一个例子就是20世纪90年代通信领域的革命——万维网，这是前所未有的。

什么是技术

技术是进化另辟蹊径的延续，因此其发展速度也在以指数级的速度推进。“技术”一词的英文Technology由希腊语当中的tekhnē和logia两个词衍生而来，前者意为“手工艺”或“艺术”，后者意为“……的研究”。因此，“技术”一词有一个义项便是“手工艺方面的研究”，其中“手工艺”指的是“为了某一实际目的而塑造资源”。这里我选用了“资源”而非“材料”一词，其原因在于，技术还包含对非材料资源的塑造，比如信息。

技术通常被定义为人类为获得控制环境的能力而发掘的创造工具的技艺。然而，这一定义并不充分。使用工具乃至创造工具的技艺并不是人类独有的。苏门答腊岛上斯瓦克杨桃园沼泽中的红毛猩猩用长棍作为工具撬开白蚁的巢穴；乌鸦懂得使用木棍和树叶制作工具；切叶蚁把干树叶和自己的唾液混合在一起制造糨糊；鳄鱼也会用树根来固定死去的猎物。注

人类的独特之处在于运用知识——记录下来的知识，来制造工具。知识库代表了不断发展的技术的遗传密码。由于技术已经得到发展，该知识库的记录方法也从古生物的口头记录传统转变为19世纪的手艺人运用文字做的记录，再发展到20世纪90年代用电脑协助设计的数据库，记录的手段也在不断发展。

技术还意味着对其构成材料的一种超越。如果某项发明的各种元素以正确的方式集合在一起，就能产生一种奇妙的效果，而构成它的单个元素是达不到这个效果的。1875年，美国发明家亚历山大·格雷厄姆·贝尔无意中用电线把两个移动的鼓和螺线管（用电线缠绕而成的金属芯）连接在一起，得到的这个“装置”效果竟然远远超越了原来用的材料。人类的声音有史以来第一次被神奇地传送到远处。其实大部分元素都是随机聚集在一起的。但是当许多材料（在现代技术当中便是指信息）以正确的方式集合在一起，就会产生超越性的效果。物体集合在一起产生的力量要远远大于各部分力量之和。

在艺术领域同样也存在超越现象，将这种超越视为人类技术的另一种形式也许更合适。把木头涂上漆，再把它和细线用正确的方式集合在一起，得到的装置简直令人惊异：小提琴、钢琴。如果以正确的方式使用这些器具，那又会产生另一种魔法般的效果：音乐。音乐远远超越了声音。音乐能唤起回应——认知的、情感的，也许还有心灵的，对听音乐的人来说，这又是另一种形式的超越。所有艺术形式都有一个共同目标：让艺术家与听众交流。这种交流并不是简单朴素的数据沟通，而是现象学花园当中一种更为重要的形式：感觉、想法、经历、向往。在希腊语当中，tekhnēlogia的意思也包括艺术，是技术的一种重要体现。

语言是人类创造的另一种技术形式。技术的基本应用领域之一就是交流，而语言为人类交流提供了基础。交流是一种重要的生存技能，有了它，人类家庭和部落就能群策群力共同战胜艰难险阻。其他动物也懂得如何交流，猴子和猿使用复杂的手势和咕哝声来交流各类信息；蜜蜂找到了隐藏的花蜜后，也会通过舞动“8”字形图案来传递信息；马来西亚的雌性树蛙会跳踢踏舞来吸引雄性；螃蟹用朝一个方向挥动钳子来警示同伴存在危险，但会用另一种节奏挥动钳子来求偶。[注]不过这些方法似乎并没有进化，只是通过以DNA为基础的常规方式在演变而已。这些物种无法记录其交流方式，因此这些交流方式只能原封不动地代代相传。相比之下，人类的语言一

直在进化，各种形式的技术也一直在进步。结合不同时期的不同语言形式，技术为人类提供了与时俱进的方法来记录和传播其语言。

智人对我眼中那些技术形式的运用与培养也是独一无二的，比如艺术、语言、机器等等，这些都表明进化在以不同的方式进行。20世纪60~90年代期间，据说一些认知能力较强的灵长类动物已经掌握了语言技能，它们的水平至少和孩童相当。黑猩猩拉娜和坎齐能按顺序按压带有标记的按钮，据说大猩猩华秀和可可会使用美式手语。许多语言学家对此提出质疑，他们指出很多灵长类动物的“句子”其实只是一些含混不清的发音，比如“Nim eat,Nim eat,drink eat me Nim,me gum me gum,tickle me,Nim play,you me banana me banana ou”y，即便我们怀着非常宽容的态度来看待这种现象，这也只能证明它是上述论证的一个例外。人们认为这些灵长类动物正在使用语言，但它们并没有推动这些语言的进化，似乎也没有自发地发展这些技能，对这些技能的运用也十分有限。注它们最多也就是为一项人类独有的发明尽其绵力而已，这项发明就是运用递归的（自我参考的）、象征性的、不断演变的交流方式，我们称之为语言。

技术的必然性

一旦一颗星球上有了生命，我们就可以认为这颗星球上必然会诞生技术。通过技术来扩大一个人的生理能力——更不用说智力了，对生存来说显然非常奏效。技术使得我们这些生命亚种具备支配自己所处生态环境的能力。技术要求其创造者具备两个属性：智能以及操控环境的体能。我们将在第四章中对智能的本质做更多探讨。智能明确呈现了对有限资源（包括时间）进行最佳运用的能力，从本质上来说，这种能力有益于生存，因此备受推崇。这种控制环境的能力非常实用，否则有机物

只能任由环境来安排自己的安全、食物，全凭环境来满足自己其他方面的需求。因此，作为一种有机物，迟早要具备上述两种属性。

计算能力的必然性

> 将人类描述为制作工具的动物其实还算准确。支持人类早期尚未开化的生活的，正是那些最简单的工具及其最粗糙的构造，在机械设备替代人类方面取得的最新成就不仅替代了人类双手的技能，更减轻了人类脑力的负担，这些成就都可以通过使用更高层次的工具来实现。
>
> ——查尔斯·巴贝奇

我们仔细回顾的那些基本过程——宇宙的演进、生命形式的进化以及后来的技术进步都是呈指数级的，有些逐渐减速，有些逐渐加速。那么它们推进的共同主线是什么呢？为什么进化在加速时宇宙却在以指数级减速呢？答案会令诸位大吃一惊，但这些答案却是了解21世纪的基本条件。

在我试着回答这些问题之前，我们先研究另一个加速度的相关案例：计算的指数级增长。

在生命形式进化的早期，某些特化(注)器官逐渐拥有了一种既能维持体内状态稳定又能对体外刺激做出不同反应的能力。从那以后，这种能力逐渐演变为更加复杂也更有能力的神经系统，能够储存大量记忆，能够通过视觉、听觉和触觉的刺激进行模式识别，还能够参与更加复杂的推理活动。记忆能力以及问题解决能力（即计算能力）已是多细胞生物进化过程中具备的最高级能力。

在人类创造的技术的发展过程中，计算能力也具有同样的价值。如果某个产品既能维持内部状态稳定又能对外部的不同情境做出不同反应，那么这种产品将更加有用。在帮助强化人类的力量之后，机器开始积攒记忆的能力以及进行逻辑操纵的能力。中世纪时期的简易凸轮、齿轮以及杠杆装置的组合使用为欧洲的文艺复兴贡献了力量。17世纪出现的机械计算器也比以往更加复杂，在1890年美国第一次自动化人口普查中发挥了重要作用。第二次世界大战期间，计算机至少在一个战场中扮演着至关重要的角色，而且从那以后发展得越来越快。

技术的生命周期

技术为自身的生存和发展而战，并且有着独特的生命周期。我们可以将其划分为7个不同阶段。在“先驱”阶段，技术的先决条件已经存在，梦想家们可能会考虑把这些元素放在一起。然而，即便这些梦想此时已经记录在案，人们也不会将其视为发明创造。达·芬奇曾绘制过很多有说服力的飞机和汽车图画，但人们并不认为他这是在发明创造。

第二个阶段是在人类文化当中相当有名的阶段：“发明”阶段。这个阶段比较短，从某些方面来看，这就像怀胎数月最终分娩的过程一样。只是在这个阶段当中，发明家们把科学技术、好奇心、决心结合起来，通常再加上一定的表演技巧，将各种方法以一种新的方式结合在一起，给生活带来一种全新的技术。

第三个阶段是“发展”，在这一阶段，新发明会得到那些溺爱的监护者（也许还包括最初的发明者）的保护和支持。通常这一阶段比发明阶段还要重要，可能还包括额外的创造，而这些额外的创造要比那个独创性发明更重要。当年，许多工匠已经手工制作了不少非常精美的老式汽车，但使汽车产业得以生根发芽、枝繁叶茂的却是美国企业家亨利·福特推出的大批量生产的创新做法。

第四个阶段是“成熟期”。技术在不断进步，现在已有了自己的生命，也终于成为社会当中独立稳定的部分，也许已经深入人类

生活的方方面面，因此许多观察家认为，技术将永存于世。在下一个阶段（我称之为“挑战者”时期）到来前，这种状态会发生有趣的变化。技术界的“新贵”威胁着要排挤那些老技术，其追随者过早地宣布了胜利的消息。尽管新技术能带来一些独特的益处，但仔细思考之后你会发现，其功能和质量方面存在着关键元素缺失的问题。当人们发现这些新技术确实无法改变已有的秩序之后，技术的保守派便以此为证据，证明以前的技术方法确实可以永存。

这对逐渐老化的技术来说通常只是一个短暂的胜利。另一种新技术很快就会出现，它总能成功地将原有的技术逼到过时的舞台上。在生命周期的这个部分，技术在逐渐衰败的状态当中度过了晚年，它的最初目的和功能现在都被一个更活泼的竞争对手比下去了。这一阶段约占技术整个生命周期的5%~10%，技术最终成为“老古董”（例如：马和轻便马车、拨弦键琴、人工打字机、机电式计算器）。

我以留声机为案例解释一下吧。19世纪中叶有几种先驱机器，包括法国发明家斯科特·德·马丁维尔发明的声波记振仪，这种设备可以把声音的振动用印刷物的形式记录下来。不过，1877年，爱迪生把这些元素集合在一起，发明了世界上第一台可以记录并复制声音的机器。若想让留声机在商业领域也大获成功，就要对它做一些必要的改良工作。1948年，美国哥伦比亚公司推出了每分钟转数为33的密纹唱片，美国无线电公司推出了每分钟转数为45的小型唱盘，至此，这项技术才算羽翼丰满。这些唱片的挑战者是20世纪60年代推出的盒式磁带，在70年代大受欢迎。早期的追随者曾经预言，磁带凭借其娇小的体型及可录制信息的能力，可以轻松地将体型相对庞大又容易划伤的记录机淘汰出局。

尽管具有这些显而易见的优点，磁带还有一些缺陷，比如不能随机读取（按照你想要的顺序播放歌曲的能力）、容易变形，也缺乏保真度。20世纪80年代末及90年代初，数字激光唱片问世后确实给留声机来了致命一击。激发唱片既可以随机读取，又可以提供接

近人类听觉系统极限水平的高质量声音，留声机在20世纪90年代初开始进入衰退期，虽然还有小批量生产，但爱迪生在一个多世纪前发明的技术也要变成老古董了。

另一个案例是纸质书，如今这已经是一项非常成熟的技术，当下正面临着多位“挑战者”的威胁，以软件为基础的“虚拟”书就是挑战者之一。由于虚拟书清晰度低、对比率低、不断闪烁，还有很多其他视觉方面的质量问题，因此最新一代的虚拟书还没有能力取代纸质书。不过纸质书的胜利也将非常短暂，未来不断更新换代的电脑设备一定会提供最令人满意的纸张替代品。

摩尔定律的诞生

美国科学家戈登·摩尔是集成电路的发明者，也是英特尔公司的前总裁。1965年，摩尔发现单个晶体管所占表面积（即该晶体管被印刻在集成电路上时占据的面积）大约每12个月就会减少50%。1975年，媒体广泛报道他将这一周期延长为18个月，不过摩尔本人声称他已经将这一周期延长至24个月，这个说法似乎与数据更吻合。

年份	最新型英特尔电脑芯片中晶体管的个数
1972年	3 500
1974年	6 000
1975年	29 000
1982年	134 000
1985年	275 000
1989年	1 200 000
1993年	3 100 000
1995年	5 500 000
1997年	7 500 000

电子消费品制造商协会提供数据

图1－1 奏效的摩尔定律

结果显示，一块集成电路板上的晶体管数量每两年就可以翻一番，这使得芯片的零部件数量也加了一倍，速度也提升至原来的两倍。由于集成电路的成本相当稳定，这表明，每隔一年你都能获得两倍于之前电路运行速度的新集成电路，而价格却不变。对于许多应用程序来说，这是使价值翻番的有效途径。而上述发现在任何一种集成电路中都成立，不管是存储芯片中的电路还是计算机处理器中的，都适用。

这一富有洞察力的发现后来被称作“摩尔定律”，这项意义非凡的定律在过去40年中一直推动着计算的加速发展。但这一定律究竟能走多远呢？各大芯片公司曾信心满满地表示，如果运用持续提高光刻（一种类似于影印的电子处理法）图形分辨率的做法来缩小晶体管和其他主要零部件的形体尺寸——现在应该用百万分之一米来测量，那么摩尔定律至少还能撑15~20年。注之后（大概60年后），这一模式便会瓦解，晶体管绝缘层厚度只相当于几个原子，无法再使用常规做法来缩小它们的尺寸。

那接下来怎么办？

首先，我们要注意到计算的指数级增长并不是从摩尔定律才开始的。在图1－2中，注我在一张指数型图表上标绘了横跨20世纪的49台著名计算机器，其中纵轴代表单位成本中电脑速度的10的次方（用1 000美元可以购买的“每秒计算速度”的数量来衡量），图中的每一点都代表一台机器，前5台机器使用的是机械技术，后面3台是机电（继电器式的）计算机，接着是11台真空电子管机器，然后是12台使用分离式晶体管的机器，只有最后18台计算机使用了集成电路。

我在把这些点拟合成曲线时采用了四阶多项式，这样曲线中最多可出现四个弯曲点。换言之，我起初并没有尝试用一条直线拟合这些点，而是用了与点的分布最接近的四阶曲线，但结果却接近一条直线。在一幅指数图中，直线表明指数级增长趋势。仔细观察图中走势会发现，该曲线实际上有些向上弯曲，这表明在指数级增长的大趋势下还有一小段增速更快。这也许是两种不同指数型趋势相互作用的结果，本书第六章会就这一话题展开讨论。或许确实存在两种水平上的指数级增长，但即便采纳最保守的观点认为只存在一种加速，我们也能看见计算的指数级增长并不是因为有了摩尔定律才出现的，具体日期还要追溯到20世纪初电子计算机诞生的时候。

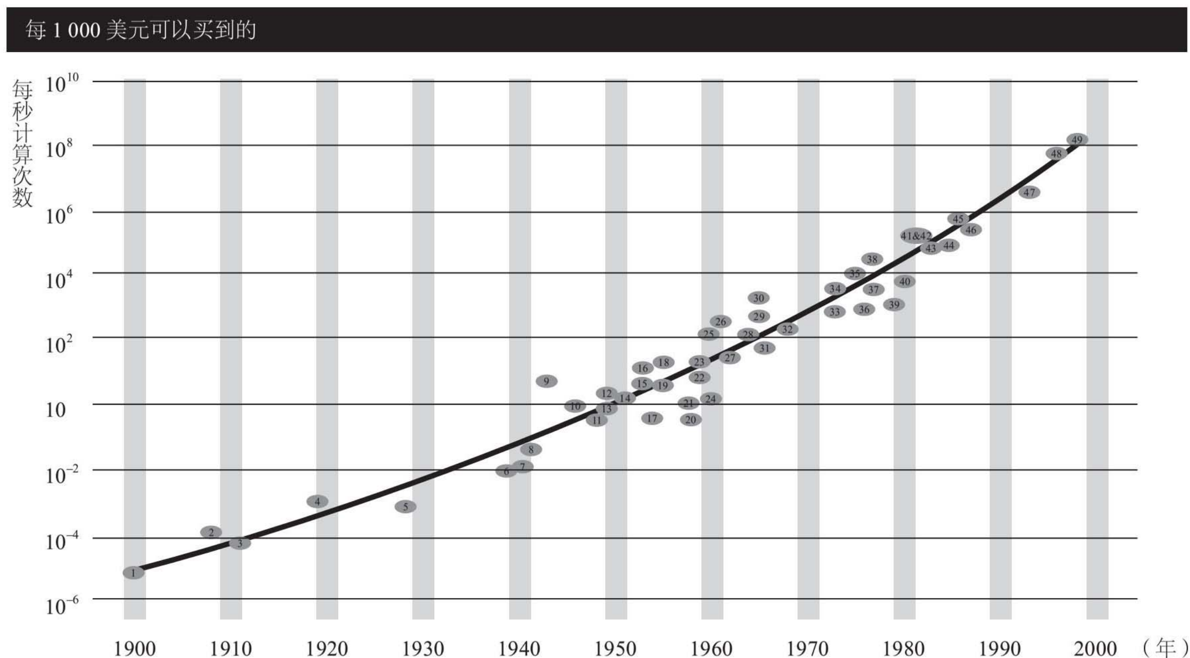


图1－2 1900~1998年计算的指数级增长图

机械型计算设备

1. 1900 年	Analytical Engine
2. 1908 年	Hollerith Tabulator
3. 1911 年	Monroe Calculator
4. 1919 年	IBM Tabulator
5. 1928 年	National Ellis 3000

机电（继电器式）计算机

6. 1939 年	Zuse 2
7. 1940 年	Bell Calculator Model 1
8. 1941 年	Zuse 3

真空电子管计算机

9. 1943 年 Colossus

10. 1946 年 ENlAC

11. 1948 年 IBM SSEC

12. 1949 年 BINAC

13. 1949 年 EDSAC

14. 1951 年 Univac I

15. 1953 年 Univac 1103

16. 1953 年 IBM 701

17. 1954 年 EDVAC

18. 1955 年 Whirlwind

19. 1955 年 IBM 704

分离式晶体管计算机

20. 1958 年	Datamatic 1000
21. 1958 年	Univac II
22. 1959 年	Mobidic
23. 1959 年	IBM 7090
24. 1960 年	IBM 1620
25. 1960 年	DEC PDP–l
26. 1961 年	DEC PDP–4
27. 1962 年	Univac III
28. 1964 年	CDC 6600
29. 1965 年	IBM 1130
30. 1965 年	DEC PDP–8
31. 1966 年	IBM 360 Model 75

集成电路计算机

32. 1968 年	DEC PDP–10
33. 1973 年	Intellec–8
34. 1973 年	Data General Nova
35. 1975 年	Altair 8800
36. 1976 年	DEC PDP–ll Model 70
37. 1977 年	Cray 1
38. 1977 年	Apple II
39. 1979 年	DEC VAX 11 Model 780
40. 1980 年	Sun–1
41. 1982 年	IBM PC
42. 1982 年	Compaq Portable
43. 1983 年	IBM AT–80286
44. 1984 年	Apple Macintosh
45. 1986 年	Compaq Deskpro 386
46. 1987 年	Apple Mac II
47. 1993 年	Pentium PC
48. 1996 年	Pentium PC
49. 1998 年	Pentium II PC

20世纪80年代，很多观察家——其中包括卡内基－梅隆大学移动机器人实验室主任汉斯·莫拉韦克、日本电气股份有限公司的计算机学家

戴维·华尔兹以及我本人都注意到，电脑的能力已经开始呈指数级增长，早在1958年发明集成电路甚至1947年发明晶体管之前，这种趋势就已经初见端倪。注计算机化的速度和密度从20世纪初的每三年翻一番，到20世纪末每一年就翻一番，而这种属性与用户所使用的硬件类型无关。值得注意的是，这种“计算能力指数型定律”的正确性毋庸置疑，至少已经持续了一个世纪，从1890年美国人口普查时使用的以穿孔卡片为基础的机械型电子计算技术，到破解纳粹“英格玛”密码使用的继电器式计算机、20世纪50年代以真空电子管为基础的计算机、20世纪60年代以晶体管为基础的计算机，再到后来40年当中所有使用集成电路的计算机，这一定律都成立。相同单位成本的计算机功能要比半个世纪之前的强大一亿倍。如果在过去的50年当中，汽车行业也能取得同样的进展，那么现在的汽车成本应该只有区区一美分，速度却能超越光速。

与所有指数级增长现象一样，计算机化的进程起初也非常缓慢，慢到几乎无法察觉。1890年人口普查时使用了第一台电子计算设备，此后几十年尽管该技术一直在进步，可直到20世纪60年代中期，人们才又一次注意到计算机的发展（艾伦·图灵1950年时已经暗示过这一点）。即便在当时，也只有一小部分计算机工程师和科学家注意到这一点。如今，我们只有在当地报纸上浏览个人电脑广告（或者玩具广告）的时候才能注意到，计算机化的价格波动异常明显，已经达到每月一变的地步。

所以，“摩尔定律”并不是首个进化模式，而是推动计算机长达一世纪之久的指数级增长中的第五个进化模式。每一种新的进化模式都会在社会需要的时候产生。这表明指数级增长并不会随着“摩尔定律”失效而停止。不过，计算机化指数级增长究竟会持续多久对我们了解21世纪至关重要。因此，为了进一步了解这一趋势的真实本质，我们需要回到之前探讨的时间的指数级增长问题上。

时间与混沌定律

时间的流逝究竟是真实的，还是只是我们感受到的一种幻觉，或许所谓的真实不过是无数个瞬间汇聚在一起罢了。

——李·施莫林

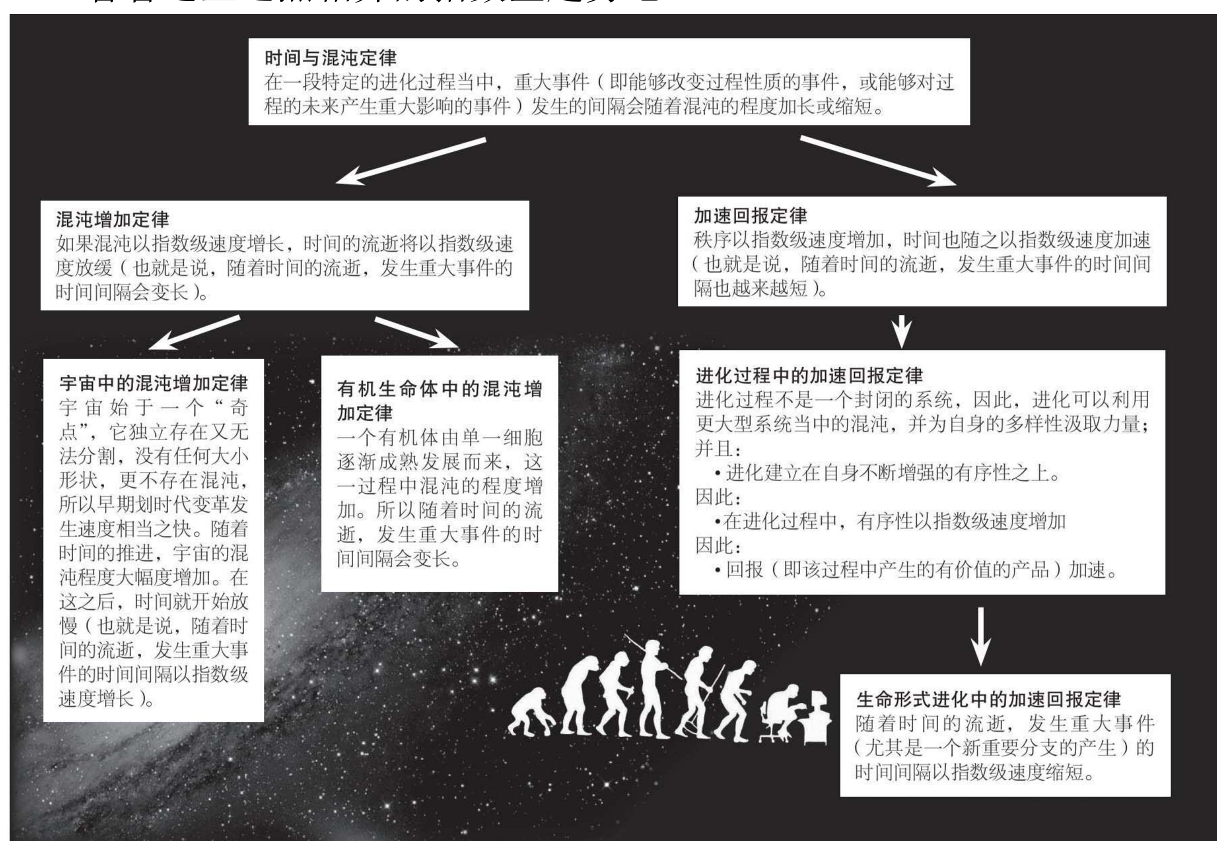
时间是不让所有事情同时发生的自然之道。

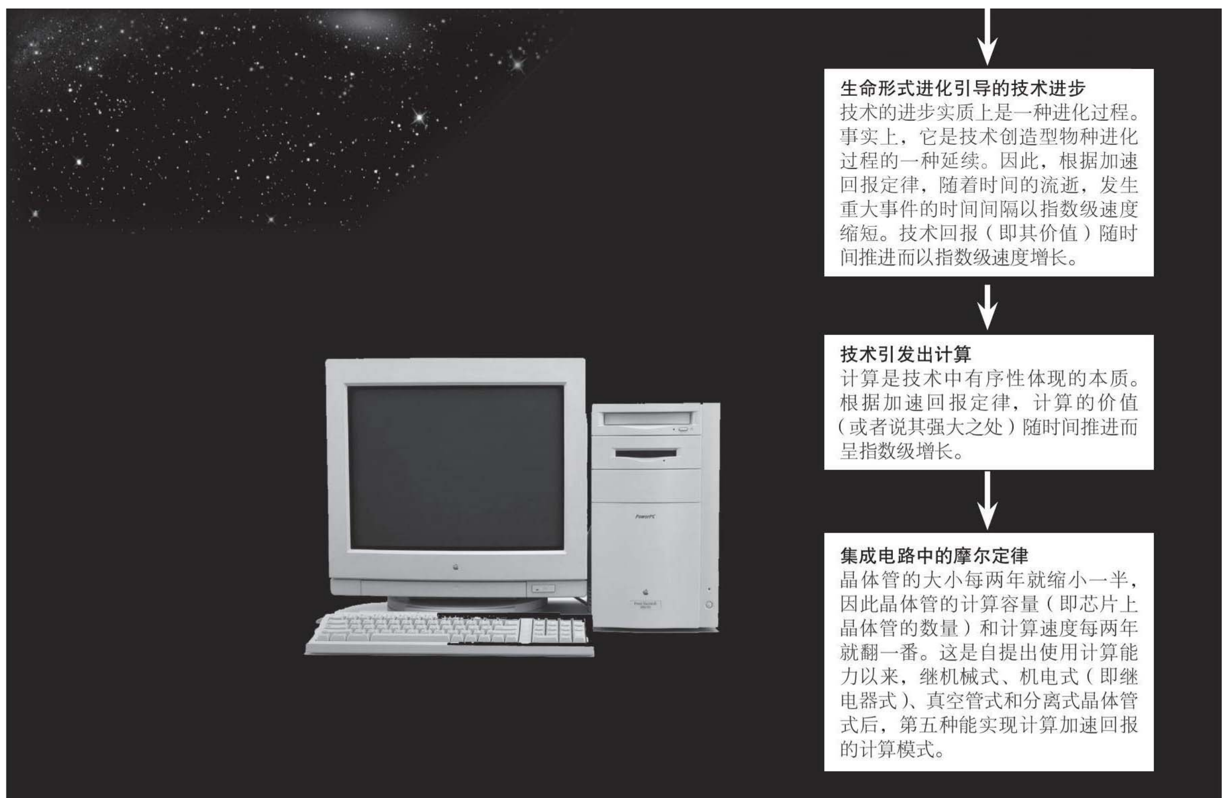
——格拉菲多

如今，许多事物都比从前更接近它们原本的模样。

——德怀特·艾森豪威尔

看看这些迥然相异的指数型趋势吧：





•宇宙的指数型减速趋势：起初的10亿分之一秒时经历了三个纪元，后来的一些重大事件却花费了几十亿年。

•有机物形成经历的指数型减速：在孕育成胎的第一个月里，我们长出了身体、脑袋甚至还有尾巴，在随后的两个月里长出了大脑。脱离了母体限制以后，我们的生理和心理都迅速成熟起来。出生后第一年，我们学会了基本的移动和交流技巧，每个月都能学会一项新技能。但此后要学会新技能的周期越来越长，要花费几年甚至几十年。

•地球上生命形式的进化呈指数型加速。

•人类创造的各种技术的加速呈指数型，与生命形式的进化齐头并进。

•计算能力的增长呈指数型：要注意，随着时间推移出现的指数级增长只是指数型加速的另一种体现。比如，曾经花90年时间才能用1 000美元买到的第一个MIP（每秒百万条指令，计算机运算速度的度量单位），现在每天每1 000美元都可以增加一个额外的MIP。显然，整体创新的速度也在加速。

• “摩尔定律”:如前所述，该定律是计算能力实现指数级增长的第五个进化模式。

我又想到了很多问题：

在这些迥然不同的指数型趋势中，究竟有没有共同之处？

为什么有的过程逐渐加速，而有的逐渐减速？

如果摩尔定律失效了，我们又如何解读计算能力指数级增长的延续性？

是否正如IBM（国际商用机器公司）基础科学领头人兰迪·艾萨克主张的那样，摩尔定律只是一系列行业预期和目标？或者，它是一种更深奥现象的某一部分，远远超越了集成电路的影印技术？

多年以来，仔细思考过这些明显呈多样化的趋势之间的关系之后，我终于搞清了它们惊人的共同之处。

究竟是什么决定了时间加速或减速？这个答案是始终如一的，那就是时间的推移同混沌的程度相关。我们可以将“时间与混沌定律”陈述如下：

> 时间与混沌定律：在一段过程当中，重大事件（即能够改变过程性质的事件，或能够对过程的未来产生重大影响的事件）的间隔会随着混沌的程度加长或缩短。

如果某段过程当中混沌程度很大，那么需要间隔很长时间才会发生重大事件。反过来看，如果有序性增加，那么发生重大事件的时间间隔就会缩短。

在对混沌下定义的时候应小心谨慎。混沌指的是在某一过程的相关事件中无序（即随机事件）的数量。如果我们考察的是气体或液体中原子和分子的随机运动，那么热就是其衡量标准。如果我们研究的是生命形式的进化过程，混沌就代表了有机物有可能遭遇的不明事件和遗传密码中出现的基因突变。

现在来看看如何用时间与混沌定律解释我们的案例。如果混沌增加，时间与混沌定律就有以下次定律的含义：

> 混沌增加定律：如果混沌呈指数级增长，时间的流逝将呈指数级放缓（也就是说，随着时间的流逝，发生重大事件的时间间隔会变长）。

这一定律在宇宙的演变中非常适用。当整个宇宙还只是一个“裸”奇点——时空当中一个非常有序的点时，那时还不存在混沌，那些显著事件也几乎不会耗费任何时间。随着宇宙不断增大，混沌开始以指数级速度增长，很多划时代变革的时间跨度也开始以指数级速度增长。现在，宇宙广袤的空间当中有数十亿星系在离地球数万亿光年之外的空间里蔓延扩张，宇宙当中满是混沌，在这种情况下，确实需要数十亿年才能使一切井然有序，为进化模式的转换铺平道路。

有机物的生命进程中也存在类似的现象。人类由最初的一个受精细胞发展为拥有数十亿个细胞的生物，其状态也从最初极其有限的混沌演变为后来极度扩张的混沌。最终在生命结束时，我们的身体构造开始恶化，由此引发了更多的混沌无序。因此，随着年纪的增长，发生重大生物事件的周期也变长了，这就是我们实实在在的经历。

但与“时间与混沌定律”中螺旋上升的趋势相反的情况才最重要，也与我们的目的最休戚相关。看看下面这条相反的次定律吧，我称之为“加速回报定律”：

加速回报定律：秩序以指数级速度增加，时间也随之以指数级速度加速（也就是说，随着时间的流逝，发生重大事件的时间间隔也越来越短）。

“加速回报定律”（这样叫是为了将该定律与一个回报减少的著名定律区分开来）可以专门用于进化的过程。在进化过程中，持续增强的是有序（混沌的对立面）。并且，正如我们已经了解的那样，时间会加速。

无序的对立面

前文已经指出，“时间与混沌定律”中的混沌是一个比较难理解的概念。只有混沌还远远不够，我们研究的无序要具备随机性，这种随机性同我们参与的过程相关。在前文中提到的“加速回报定律”中，我称无序的对立面为“有序”，这比混沌的概念还要难理解。

先从我们对“无序”的定义看起。如果无序代表了一系列事件的随机序列，那么无序的反义就应该意味着“不随机”。如果随机意为“不可预测的”，那我们就可以认为秩序是可预测的。但这种看法可能并不正确。

借用信息理论[注]中的内容来看，就是要考虑信息与噪声之间的区别。信息是在某一过程当中有意义的有序数据，比如有机体当中的DNA密码，或是电脑程序中度量数据的最小单位比特。但是，噪声却是一个随机序列，是不可预测的，同时，信息也无法预测。具体来说，噪声本质上就是无法预测的，无法提供任何信息。而信息也是不可预测的，因为如果我们能从已有的数据预测出未来的数据，那么那部分未来数据就不叫信息了。举例来说，我们观察一组只在0和1之间来回切换（010101……）的序列，显然这样的序列是有序的，也是可以预测的。

正是因为太容易预测了，我们反倒认为除了最初的几个字符之外，这个序列并没有承载什么有用的信息。

因此，井然有序并不足以构成有序，因为有序还需要信息。所以，也许我该用“信息”一词来代替“有序”。然而，只有信息并不足以达成我们的研究目的。想想电话簿你就明白了。电话簿为我们呈现了很多信息，也体现了一定的秩序。然而，如果将其大小扩至两倍，我们增加的只是数据的量，有序的等级并未提高。

如此看来，有序就是与某个目的相匹配的信息。衡量秩序的等级，就是衡量信息与目的的匹配程度。对生命形式的进化来说，目的就是存活下来；在股票市场投资中使用进化算法（一种可以模拟进化解决问题的电脑程序），目的是赚钱。仅仅拥有更多信息不见得能更充分地达成目的，解决问题的高级方案很可能只包含少量数据。

近些年来，人们常用“复杂性”这个概念来描述进化过程创造的信息的本质。复杂性与我所说的秩序的概念最接近。毕竟，地球上生命形式进化产生的构造随着时间的推移似乎变得愈加复杂起来。然而复杂性和有序并不完全适合有序的衡量。有时更深层次的有序——与目的更匹配，是通过简单化而不是增加复杂性得到的。正如爱因斯坦所说，“凡事都应该尽可能简单，而不是比较简单”。比如说，一种新的理论可以把明显毫不相关的几个概念融入一个更宽泛、更有条理的理论中，这样就降低了复杂性，但也许同时增强了我所说的“为达成目的而设定的有序性”。进化过程已经表明，朝向更高级有序性的一般趋势通常并不会产生更高级的复杂性。[注]

因此，改善某个问题的解决方案（也许会提高或降低复杂性）就会增强有序性。现在暂且不考虑如何界定这个问题，以后我们会明白，正确定义一个问题通常是找到解决方案的关键所在。

熵增定律与有序性的增强

另一个值得考虑的问题是“时间与混沌定律”与热力学第二定律有何关联。热力学第二定律涉及的是封闭系统，而“时间与混沌定律”与过程有关。宇宙是一个封闭的系统（不受外部影响，因为宇宙的外部空空如也），因此，根据热力学第二定律来看，随着混沌的增加，时间的流逝会减速。相反，进化恰恰不是封闭的系统。它诞生于大混沌之中，**依赖周边的无序性存在，并从中汲取保持自身多样性所需的元素。**进化过程通过这些选择丢弃了很多其他选项，以此创造了更高级的有序性。就连看似会引发新一轮重大混沌的危机也极有可能加强（或加深）由进化过程创造的有序性。6 500万年前使恐龙等大型有机体灭绝的小行星便是一例。小行星冲撞地球之后使得混沌骤增（灰尘也骤增）。但这似乎也加速了生态环境中哺乳动物的崛起（这些环境以前都是大型爬行动物的地盘），最终催生了能够创造技术的物种。当一切尘埃落定之后（实实在在地落定），这颗小行星带来的危机反倒增强了秩序性。

我在前文曾经提到，宇宙当中只有一小部分星球，或者只有地球这样承载着生命和技术的星球，才能被视为进化的发明之一。因此，进化与熵增定律并不冲突。事实上，后者需要向前者提供永无止境的选择，生命才能得以延续。

前文指出，只要有生命出现，创造技术的物种就会出现，技术也必将出现。技术是通过其他方式实现持续进化的，其自身就是一个进化过程。因此，技术也在加速。

无论是生命形式的加速进化还是技术的加速发展，其首要原因在于进化是建立在自身不断增强的有序性之上的。由进化带来的创新极大地鼓励并促进了其自身的加速发展。生命形式的进化中，其中最引人注意的案例要属DNA了，它提供了一组记录在案且被保护周全的人类构造转录信息，通过这些转录信息可以进一步推进更多实验。

就技术进步的层面来看，改良的人类记录信息的方法已经带来了技术的发展和进步。第一批电脑是在纸上设计完成，并通过手工组装起来的。如今，人们都在计算机工作站中设计电脑，由电脑自己设计下一代

新型产品应该具有哪些细节特征，然后再交给由人类指导但基本不会直接干预的自动化工厂进行生产组装。

技术的改进过程也在寻求以指数级速度提高能力的方式。创新者们总想成倍改善事物。创新是乘法，不是加法。技术与所有进化过程一样，也以自身为基础。当它完全掌控了自身发展的时候，这种加速趋势就会持续下去。

因此，我们可以就生命形式和技术的进步得出以下结论：

进化过程中运用的“加速回报定律”：

• 进化过程不是一个封闭的系统，因此，进化可以利用更大型的系统当中的混沌，并为自身的多样性汲取力量。

• 进化建立在自身不断增强的有序性之上。

因此：

• 在进化过程中，有序性的增加呈指数型。

因此：

• 时间流逝呈指数型加速。

因此：

• 回报（即该过程中产生的有价值的产品）加速。

时间流逝加速和减速的现象是同时发生的。从宇宙论的角度讲，宇宙的演化一直在减速，而进化却在持续加速，目前最明显的体现就是人类创造的技术。“时间与混沌定律”包含两个方面——两股相互交错的螺旋。

我们最感兴趣的螺旋——加速回报定律赋予我们技术领域更高层次的有序性，也必将促成计算能力的出现与繁荣。计算能力是有序性的精

华所在，它为技术提供了一种能力，使技术能以多变而适当的方式来回应自身环境以完成使命。因此，计算技术也是一种进化过程，也是建立在自身过程之上的。随着时间推移，完成一项固定目标的时间也以指数级速度缩短了（比如当初花1 000美元购买第一个MIP用了90年时间，如今一天就可以购买一个额外的MIP）。计算能力也随着时间流逝以指数级增长，这再次表明了同样的道理。

摩尔定律何去何从？

其实，摩尔定律将在2020年失效。1958年，摩尔定律诞生，截至2018年，摩尔定律已经“服役”60年之久，对于如今的进化模式来说，这个周期的确不短了。但加速回报定律和摩尔定律不同，它没有那么短命，它是时间与混沌本质的基本属性，是时间与混沌定律的次定律，描述了许许多多迥然相异的现象和趋势。根据加速回报定律，摩尔定律失效时必会出现另一种计算技术，中途不会有衔接断点。

大部分指数级趋势都是处处碰壁……但这个不会

对未来的预测饱受诟病，其中一种批评是，这些预言是以预言者对当前趋势的愚蠢推断为基础做出的，根本没有考虑可能终止或改变这一趋势的力量，这一点在以指数型趋势发展的案例中体现得尤为明显。其中一个经典的案例是，某一物种碰巧移居到一个热情好客的新栖息地，也许是人类介入将其迁移至那里（比如澳大利亚的兔子）。起初，该物种数量会以指数级速度增加，但如果这些数量暴增的新居民不巧碰到了新的捕食者或者新环境承载力有限，那么这一物种的数量就会停止增长。同样，呈几何级数的人口增长趋势一直令人类焦虑不安，但近年来不断变化的社会经济元素（包括日益增长的财富）已经显著遏制了人口增速，即便在发展中国家也是如此。

学习曲线：鼻涕虫与人类

“学习曲线”描述的是在一段时间内掌握的技能的能力。某种实体生物——鼻涕虫或人类学习新技能时，这种新掌握的能力是建立在自身基础之上的。因此，其学习曲线的走向起初与我们在加速回报定律中看到的指数级增长一样。技能是有限的，因此一旦掌握了新技能，减速回报定律就会发生作用，学习速度就会变慢。所以，学习曲线就是我们所说的“S”形曲线，因为其指数级增长会趋向平稳，其走向就像稍微右倾的S一样。

学习曲线极具普适性：大多数多细胞生物的学习过程都与之吻合。比如鼻涕虫，在学习如何爬上一棵新树寻找树叶的时候，就符合学习曲线的走向。当然，总是在不停学习新鲜事物的人类同样如此。

但人类和鼻涕虫之间有一个显著差异。人类能够发明创新，这是对新技术和新知识的创造和保留。创新是加速回报定律的驱动力，能消除S形曲线上趋于平缓的部分，将S形曲线转化为无限的指数型扩张。

克服S形曲线的特性是证明人类是独一无二的物种的另一种表达方式。还没有任何其他物种表现出这种能力。既然其他灵长类动物在基因上与人类极为相似，那人类又缘何能做到独一无二呢？

原因在于，克服S形曲线的能力定义了一个新的生态环境。正如我之前提到的，确实有其他类人物种和亚种具备创新能力，但当时的生态环境似乎只允许一种物种存活下来。但是到了21世纪，机器将会在这个排他性十足的环境中与人类同行，长久相伴。

基于这一点，有些观察者很快便预测到计算能力以指数级速度增长的时代将结束。

指数级增长的局限性可谓饱受诟病，但加速回报定律预测出的增长则是其中的例外。就连灾难（比如降临在白垩纪晚期恐龙等爬行动物身上的）都会躲过进化的过程，于是进化一路轻松选择，高歌猛进（除非整个进化过程遭到彻底摧毁）。进化过程之所以一直加速，是因为该过程也是建立在过去的成就之上的，其中就包括为进一步进化改善的进化方式。在生命形式的进化中，除了以DNA为基础的遗传密码以外，有性繁殖的出现为同类种群环境的改良提供了特征多样化的实验手段。5.7亿年前，“寒武纪大爆发”确立了现代动物肢体的基本构造，使得进化可以致力于体现更高级别的特征，比如扩大大脑功能。一个时代的诸多发明会为下一阶段的发明提供某种方法，这种方法通常是智力。

加速回报定律同样适用于计算能力的进化过程，因为计算能力本身便呈指数级增长且没有极限。它所需要的两种来源（不断进步的技术自身有序性的逐渐增强，以及为进化过程进一步多样化提供选择的混沌）是没有限制的。毕竟使机器结构更牢靠更精良所需的创新最终还是要以这些机器本身为基础推进。

摩尔定律失效后，计算的能力如何才能继续加速呢？我们才刚刚开始探索第三维度的芯片设计。如今大部分芯片都是平的，然而我们的大脑却是以三维形式组织在一起的。我们生活在一个三维的世界里，为什么不对第三维度加以利用呢？半导体材料的改进（包括不会产生热量的超导电路）让我们能够开发具有数千层电路的立方体芯片，能够把所有更小的元件聚集在一起，能够将计算能力提高数百万倍。此外，还有很多其他计算技术正严阵以待——纳米管、光学技术、晶体技术、DNA以及量子论（我们将在第六章中展开讨论），来保证加速回报定律在计算的世界里能够长兴不衰。

一个行星事件

地球上的物种万万千千，在这颗星球上引进技术可不仅仅是其中某一物种的私事，而是地球历史上的重大事件。进化最伟大的创造——人类智能正在为下一阶段的进化提供方法，也就是技术。加速回报定律预言了技术的出现。在人类祖先出现仅仅几万年后，现代人就出现了。根据加速回报定律，进化的下一个阶段应该只以几千年为单位衡量重大事件的发生，对以DNA为基础的进化来说太快了。进化的下一个阶段必定是由人类智能创造的，这也再次印证了进化的指数引擎会运用自身某一时期（人类）的创新来创造下一时期（智能机器）的创新这一说法。

进化的过程利用了大混沌——时间与混沌定律另一方面规定的熵不断增加状态来创新。时间与混沌定律有两条主线：（热力学第二定律预测的）随着混沌的增加，时间流逝呈指数型减速；随着进化创造的有序性提高，时间流逝呈指数型加速。这两条主线毫无限制地同存并进。尤其要注意的是，进化的资源、有序性及混沌都是没有限制的。我之所以强调这一点，是因为这对于理解计算机技术的进化（乃至革命）本质而言至关重要。

技术的出现是地球上智能进化的一座里程碑，因为它代表了一种有构思记录的新型进化方式。下一座里程碑将会是，技术在没有人类干预的情况下创造出自己的下一代产品。两大里程碑之间仅仅相隔数万年时间，这是进化呈指数级加速的又一个例证。

象棋的发明者与中国皇帝

为了理解这种（或任何一种）几何趋势的含义，我们有必要回顾一下象棋的发明者与其赞助人——一位中国皇帝之间的传奇故事。这位皇帝非常喜爱这款新游戏，于是允诺其发明者可以从自己的国土上任选一样心仪的东西。

“陛下，只要在棋盘的第一格放1粒米即可。”

“只要1粒米？”

“是的，陛下，只需在棋盘的第一格放1粒米，在第二格放2粒米。”

“那么，一共是3粒米？”

“是的，不过要在第三格放4粒米，第四个格放16粒，以此类推。”

皇帝爽快地答应了这位发明家看似谦卑的要求。这个故事后续有很多版本，其中一个是，这个皇帝破产了，因为在每个格子都加倍放大米意味着最终要放1 800万兆（2^{64}）粒米。如果每平方英寸[注]可以放10粒米，那这些米铺开的面积相当于地球表面积的两倍，海洋的面积也包括在内。

故事的另一个版本是发明者因此而送命。不知道哪个版本是正确的。

但有一点需要注意：那位发明者和那位皇帝在看前半边棋盘的时候还相安无事。但第32格之后，皇帝就要给发明者40亿粒米。这个数量还算公道——差不多是一大片稻田的收成，皇帝这才开始重视这个问题。

但此时皇帝仍然可以端着皇帝的架子，而那个发明者也还没有掉脑袋。直到他们商量到棋盘的另一边时，其中一位当事人才意识到有麻烦了。

现在的情形如何呢？自20世纪40年代第一台可操作的计算机诞生起，计算机的速度和容量发展到20世纪末已经翻了32番，所处的位置也就相当于刚刚走完棋盘的前半部分。而人们也确实开始重视这个问题了。

现在，我们正迈向一个新的时代，相当于迈进了棋盘的后半部分。此时，事情开始变得有趣起来。

好吧，恕我直言，我觉得卵子受精就像宇宙大爆炸——嗯，这不是玩笑话——我的意思是，一切开始时很快，然后慢下来。可现在它们是真的慢下来了吗？

这是个很形象的说法，现在发生重大事件的时间间隔要比你还是婴儿的时候长了很多，更别提当你还是胚胎的时候了。

你说过宇宙演化过程的前10亿分之一秒之内就发生了三次重大事件，那我成长之初也这么快吗？

倒也没那么快。宇宙起初只是一个奇点，一个不占据任何空间、没有任何成分的独立小点，因此也不存在混沌。第一个重大事件发生的时候就是宇宙诞生的时候，根本没有花任何时间。那时的宇宙还很小，所以很多事件推进速度极快。而人类并不是由一个独立的小点演化而来的，而是源自非常复杂的细胞。细胞有秩序，但相对于太空中一个小点而言，一个细胞内又会发生很多随机事件。因此，作为有机物，人类的第一个重大事件（即受精卵第一次有丝分裂）是以小时作为度量单位的，而不是几万亿分之一秒。此后事情的发展就慢下来了。

但我感觉像是时间流逝加速了。感觉时间一年年过去得很快，比我是小孩儿的时候快多了。你是不是说反了？

是这样的，主观体验与客观事实是相反的。

原来如此，为什么我之前没有想到？

让我再澄清一下我的意思。客观事实是指旁观者观察整个过程所看到的事实。如果我们观察一个人的发展，那么起初重大事件都发生得非常快，但后来，发生重大事件的时间间隔就变长了，所以我们说时间变慢了。不过，主观体验是对过程本身的体验，当然前提是我们得假定过程是有意识的。从你的案例来看，这一过程确实是清醒的，至少我这样认为。

谢谢。

主观来说，我们对时间的体验受重大事件发生间隔的影响。

重大事件？

没错，就像长出身体和大脑一样。

那出生算吗？

当然，出生当然算是重大事件。学着坐起来、走路、说话，这些都算。

好的，我知道了。

我们可以把每一个主观时间单位看作重大事件的时间间隔。随着年龄的增长，重大事件的时间间隔也越来越长，所以对成人而言，主观时间单位要比小孩儿更长一些。因此，我们长大的过程中会感觉时间变得越来越快了。也就是说，成人眼里几年的时间和小孩儿眼里几个月的时间差不多。因此，成人眼里的长时间间隔和小孩儿眼里的短时间间隔都代表了重大事件发生时的主观时间。当然，长时间间隔和短时间间隔与其各自经历的生活程度相比，比例是相当的。

这就是为什么我开心的时候总感觉时间过得很快吗？

这也许和一种现象有关。如果有的人经历了很多重大事件，这样的体验要比他在平静时期体验的时间要长。还是这个道理，我们会用重大事件的经历来衡量主观时间。

如果我现在觉得时间流逝正在加速，但事实上却是在减速，而从进化的主观角度来看，时间流逝是在加速，但事实上却是在减速，我这样理解对吗？

如果进化本身也有意识的话，这么理解就没错。

那么它到底有没有意识呢?

这一点不好说，不过进化有自己的时间螺旋，它的走向与我们通常认为的有意识的实体（比如人类）的时间走向背道而驰。换言之，一开始进化是很慢的，后来随着时间的流逝加速，而人的发展则相反，我们人类是先快后慢。不过宇宙的时间螺旋走向和我们有机物的走向是一致的，所以认为宇宙是有意识的也有一定道理。这一点似乎为我们理解大爆炸之前发生了什么提供了一些线索。

我也在想这个问题。

回顾过去，近距离观察大爆炸，会发现混沌经历了从有到无的过程。因此，从主观角度来看，时间是膨胀的。的确如此，随着我们的步伐回到过去接近大爆炸，主观时间也接近无限。因此，不可能回到过去跨越主观上的时间无限。

那我真是松了一口气。你说进化过程指数级加速的特性会一直延续下去，是否有什么事情会阻碍这一点?

除非发生一场消除整个进化过程的大灾难。

比如说核战争?

这是设想之一，但到了21世纪，我们将遇到很多其他“失败模式”。我们将在后面的章节继续讨论这一点。

我已经迫不及待了。那先告诉我这个吧，在21世纪，加速回报定律有什么作用?

指数级趋势影响力巨大，但也具有欺骗性。很长时间以来，它们都作用甚微地徘徊在历史的长河中。而一旦到达“曲线拐点”，就会爆发出巨大的能力。计算机技术及其对人类社会的影响便是一例。这一时间拐点差不多就在人类进入新千年的时候。现在该我问你问题了。

请讲。

你是谁？

我是这本书的读者。

当然，很高兴你可以为这本书贡献一份力量，我们还有时间为它再做一些改进。

我也很高兴。但是你还没告诉我皇帝那个故事的结尾。到底是皇帝拱手让出了江山，还是发明者不幸丢了性命？

故事有两个结尾，所以我也不好说究竟哪一个对。

也许他们最终各自妥协，也许发明者得到一块封地作为奖励就很高兴了。

对，这个结局很棒。也许对21世纪而言这是一个更好的寓言。

---

1. 特化是指在进化过程中，某一个细胞、组织、器官或整个植物结构的变化，使其更有效地行使某种功能。 ——译者注

2. 1平方英寸≈6.451 6平方厘米。——编者注

3. 有关宇宙大爆炸的书面资料包括：Joseph Silk,A Short History of the Universe（New York: Scientific American Library, 1994）; Joseph Silk,The Big Bang（San Francisco: W H. Freeman and Company, 1980）; Robert M. Wald,Space, Time & Gravity （Chicago: The University of Chicago Press, 1977）; and Stephen W Hawking,A Brief History of Time （New York: Bantam Books, 1988）。

4. 强作用力将原子核内部紧密结合，之所以称之为“强”，是因为它需要克服原子核内各个质子间强大的斥力，将其结合在一起。

5. 电弱力是电磁与β衰变中的弱作用力的结合。1968年，美国物理学家史蒂芬·温伯格和巴基斯坦物理学家阿布杜斯·萨拉姆成功利用数学中的规范对称将弱作用力和电磁力统一结合。

6. 弱作用力指β衰变和其他逐渐缓慢发生的核过程。

7. Albert Einstein, Relativity: The Special and the General Theory（New York: Crown Publishers,1961）.

8. 热力学定律描述了能量转化原理及方式。

热力学第一定律，又称能量守恒定律，1847年由德国物理学家亥姆霍兹提出，阐述了宇宙中的能量总量守恒不变。

热力学第二定律，又称熵增定律，1850年由德国物理学家克劳修斯提出，阐述了宇宙中的熵（即粒子无序性）永不减小。并且随着宇宙无序性的增大，能量会转换成无用功，故任何自然进程的效率永远低于100%。

热力学第三定律，又称绝对零度定律，1906年由德国物理学家能斯特根据开尔文1848年首次提出的“绝对零度”的概念归纳提出，阐述了绝对零度（T=0K即－273.15℃）时，所有分子停止运动；或者说，绝对零度不可能达到。

9. 书面资料详见Edward O. Wilson,The Diversity of Life （New York: W W Norton&: Company, 1993）; Stephen Jay Gould,The Book of Life （New York:W W.Norton &Company, 1993）.

10. 4亿年以前，植物从低地沼泽蔓延生长成地球上最初的陆地植物，接着是由脊椎食草动物上岸发展为最初的两栖动物，同时节肢动物也来到陆地上，其中一部分演化成昆虫。两亿年以前，恐龙与哺乳动物开始共享生存环境，恐龙占据了绝对优势，致使大部分哺乳动物都对其敬而远之，许多发展出了夜间活动的习性。

11. 6 500万年以前，恐龙灭绝。哺乳动物成为陆生动物中的优势者，且智力方面较其他动物更胜一筹，其明显特征包括热血动物、母乳喂养后代、有毛发、有性繁衍、具有四肢以及最重要的一个特征——神经系统高度发达。

12. 灵长类动物是哺乳动物类中的最高等生物，显著特征有脸部正面的眼睛、双眼视觉、有着复杂大脑皮层的大型大脑（能进行更高级的逻辑思维活动）和错综繁复的社交模式。虽不是唯一拥有智力的动物，但灵长类动物有一种独有的特征加快了计算的发展，即其独有的与其他手指相对而生的拇指。技术的出现与衍生需要的两种特质也出现了：智力和改造环境的能力。人的手指也会被认为是一种数字绝非偶然，因为现代英语中“digit”（数字）一词的用法最早出现在中世纪英语中，它来源于拉丁语的“digitus”，原意为“手指”或“脚趾”，和希腊语中的“deiknynai”意为“展示”或为相似。

13. 5 000年前，类人猿亚目从灵长类中分离。不同于原猴亚目，类人猿亚目进化相当迅速，3 000年前便出现了猴子和猿猴等高等灵长类动物，它们能通过声音、手势和脸部表情进行简单交流，从而使得复杂的社交群体发展起来。1 500年前，地球上最初的类人动物出现，它们能用后肢行走，用前肢的关节保持平衡。

14. 此处值得一提的是，电脑程序中即使是小到2%的改动也能产生大的变化。

15. 智人是地球上仅存的技术创造型物种，但智人并非最先出现的这类物种。500万年以前出现过能人（即巧手原人），它们拥有硕大的大脑，能直立行走，能制作并使用工具。约200万年以前，我们的直系祖先直立猿人开始在非洲出现。直立猿人也推动了技术的进步，包括火的使用、人类语言的发明以及武器的使用。

16. 技术大约兴起于类人动物时期，并由此加速发展开来。其他人类物种和亚种发明的技术包括火和石器的使用、陶器和衣服的制作以及其他提供人类基本需求的活动方式。早期类人动物发明了语言、视觉艺术、音乐和其他人类交流方式。

约10 000年以前，人类开始开发并使用植物，动物也在不久后被人类驯服。游牧民族开始安定驻扎，进而发展出更稳定的社会组织形式。人们开始建造房子以保护自身和农作物，同时开始发明更有效的运输方式，为贸易和大规模人类社会的形成奠定了基础。

轮子的发明相对较晚，大约出现于5 500年前的美索不达米亚平原，同期同地出现的还有筏、船和楔形文字体系（至今发现的最早的书写语言形式）。

基于这些技术，人们得以组建形成更大的群体，进而演变和发展出人类文明。约6 000年前，美索不达米亚平原出现了最初的城邦，1 000年之后又出现了孟菲斯和底比斯等古埃及城邦，受埃及法老统治至终。这些城邦最初的建造目的是作为战争的防卫城墙，士兵们利用当时最先进的技术制造出的武器守卫城邦，这些武器各式各样，包括双轮战车、矛、盔甲和箭盾。文明的出现使得人类社会中形成阶级体系并产生特定的劳动阶层，进而集中力量推动技术的发展。与此同时，教师、工程师、外科医生和抄书官等知识分子阶级出现。早期埃及文明还包括纸莎草纸的制作、度量的标准化、金属制造工序的完善、水利工程和日历的发明。

2 000多年以前，希腊人发明了具有多种内部结构的精密仪器。阿基米德、托勒密和其他学者设计了杠杆、凸轮、滑轮、阀门、轮齿和其他精细的机械装置，使得时间衡量、航海导向和地图绘制以及楼房和船只的建造等取得了革命性的发展。希腊人最为显著的技术贡献应该体现在文学艺术领域，尤其是文学、戏剧和雕塑。

不久之后，罗马的先进军事技术取代了希腊文明的辉煌。罗马帝国在军事方面的成功使得最初的城市文明出现，人们不再受战争纷扰，享受着安定平稳的生活。罗马工程师们建造起绵延上万公里的马路和诸多公共建筑，如办公大楼、桥梁、运动场、浴场和下水道。罗马人最为优越的技术是军事技术，包括先进的双轮战车和盔甲、标枪弹射器和其他卓有成效的战争工具。

公元500年，罗马帝国衰落，进入中世纪。按照现在的标准来看，之后的1 000年中的技术进步相当缓慢，仅是呈收缩螺旋式加速发展。科学、技术、宗教、艺术、文学和哲学在拜占庭、伊斯兰、中国等其他地区均有延续和发展，全球贸易的发展也使得技术跨界流通，如欧洲出现的弩弓和火药来自中国，纺车来自印度，造纸术和印刷术也出现在约2 000年以前的中国，并在几个世纪后传入欧洲。风车在世界各地出现，并且配备有巧妙的传动装置，并且这种机械装置在之后的计算机器中也有所使用。

13世纪发明的机械表中运用到的凸轮技术进一步完善了风车和水轮装置，将人类社会从“日出而作、日落而息”的生活模式中解放。中世纪晚期意义最重大的发明也许要数约翰尼斯·古腾堡发明的西式活版印刷术，大大解放了与知识相关的活动，不再受教会和国家上层的约束。

到17世纪，技术为帝国在全球范围内的扩张创造了条件。英国、法国和西班牙等欧洲国家通过分布广泛的殖民地大大发展了经济，由此产生了商人阶级、全球银行体系和早期的知识产权保护，如专利保护，等等。

1733年5月26日，英格兰专利事务所授予英国钟表匠约翰·凯伊新型拆织羊毛机器的专利，如此一来，他也开始实施制造“飞梭”的计划，并在英国纺织业市场销售。凯伊的

发明立刻获得了成功，但他将所有的盈利都花在了无谓的个人专利保护上，最后在贫穷中死去，他并未意识到他的创新发明为工业革命的纺织业奠定了基础。

凯伊的发明广为应用，同时也向机器提出了更高的要求，它们需要更快更有效地转动纱线。此时，1770年获得专利的詹姆斯·哈格里夫斯发明的珍妮纺纱机应运而生。18世纪80年代，机器能够快速梳理毛线以供应给新型自动化纺纱机。到18世纪末，英国家庭手工纺织业被快速高效的机器取代。工业革命的出现引发了19世纪初的勒德运动，这也是第一次有组织的反对技术的运动。

17. 灵长类动物学家卡尔发现苏门答腊斯瓦克杨桃园的猩猩都能制作和使用工具来抓昆虫或摘取蜂蜜和水果。虽然聪明的猩猩可以很容易跟着人类学会工具的使用，但是苏门答腊的猩猩是第一种被发现能使用工具的纯野生动物，这或许是出于生存必需技能的发展，但其他地区的猩猩并未被发现有此技能，因为它们要比苏门答腊猩猩更容易取得食物。

Carl Zimmer,“Tooling Through the Trees.”Discover 16, no. II（November 1995）:46－47.

乌鸦用树叶和树枝制作工具。这些工具用途广泛，并且在制作出来之前就可从其结构中看出其用途，有的带钩，有的则专为寻找和捕获昆虫猎物而制作。乌鸦们通常在飞行时随身携带这些工具，不用时就将其放置在巢穴周围。

Tina Adler,“Crows Rely on Tools to Get Their Work Done.”Science News 149, no. 3 （January 20, 1996）: 37.

鳄鱼无法抓捕猎物，所以它们时常用石头和树根围剿猎物。树根将死掉的猎物牢牢固定住，这样一来鳄鱼就能美美地享用它的大餐。一些人们认为鳄鱼利用石头和树根也是利用工具的一种体现。

18. 动物交流的原因各式各样：防御（危险接近时向同伴发出信号）、采集食物（告知同伴食物来源地）、求爱和交配（向同伴发出求偶信号并警告潜在竞争对手远离）以及保护领地。说到底，交流最根本的动机是生存。但有些动物交流不仅是为了生存，还有表达情感的动机。

以下举出一些新奇有趣的动物交流方式：

·马来西亚的雌性树蛙用脚踩植物的方式向潜在配偶发出求爱信号。Lori Oliwenstein, Fenella Saunders, and Rachel Preiser,“Animals 1995.”Discover 17, no. 1 （January 1996）: 54－57;

·雄性草原田鼠（一种小型啮齿动物）梳理毛发以散发体味来吸引配偶。Tina Adler,“Voles Appreciate the Value of Good Grooming.”Science News149, no. 16 （April 20,1996）: 247.

·鲸通过一系列的呼叫声进行交流。Mark Higgins,“Deep Sea Dialogue.”Nature Canada 26, no. 3 （Summer 1997）: 29－34.

·灵长类动物通过声音传递信息。有研究学者们研究了美洲中部和南部的卷尾猴、松鼠猴和金毛狮狨，这些动物在森林中彼此很难看到对方，所以它们演变出一系列呼叫声或尖叫声，以告知同伴前往食物地点。Bruce Bower,“Monkeys Sound Off, Move Out.”Science News 149, no. 17（April 27, 1996）:269.

19. 雄性大猩猩Washoe和雌性大猩猩Koko均通过北美手势语合格认定，它们是能进行交流的灵长类动物中最有名的两只猩猩。黑猩猩Viki学习后能发出三个单词的音：mama,papa和cup;两只雌性黑猩猩Lana和Kanzi学习后能照标识按按钮。

Steven Pinker对研究学者们声称的类人猿动物能理解手势语做出了回应。在The Language Instinct: How the Mind Creates Language （New York: Morrow,1994）中，他指出猩猩学习的只是简单的北美手势语，并未经过完成内容的学习。它们学习的部分也只是真正的手势语的模仿手势。他还指出研究学者们通常误将猩猩单纯的手部动作当作手势语。Washoe队中有一名失聪的研究学者，这名学者也发现相比自己记录的猩猩手势语列表，其他学者的记录列表要长得多。

20. David E. Kalish.“Chip Makers and U.S. Unveil Project.”NewYork Times,September 12, 1997.

21. “1900~1998年计算的指数级增长图”来源于如下数据：

Date	Device	Add Time (sec)	Calculations per Second (cps)	Cost (then dollars)	Cost 1998 Dollars	CPS/$1000
1900	Analytical Engine	9.00E−00	1.11E−01	$1,000,000	$19,087,000	5.821E−06
1908	Hollerith Tabulator	5.00E+01	2.00E−02	$9,000	$154,000	1.299E−04
1911	Monroe Calculator	3.00E+01	3.33E−02	$35,000	$576,000	5.787E−05
1919	IBM Tabulator	5.00E−00	2.00E−01	$20,000	$188,000	1.064E−03
1928	National Ellis 3000	1.00E+01	1.00E−01	$15,000	$143,000	6.993E−04
1939	Zuse 2	1.00E−00	1.00E−00	$10,000	$117,000	8.547E−03
1940	Bell Calculator Model 1	3.00E−01	3.33E−00	$20,000	$233,000	1.431E−02
1941	Zuse 3	3.00E−01	3.33E−00	$6,500	$72,000	4.630E−02
1943	Colossus	2.00E−04	5.00E+03	$100,000	$942,000	5.308E−00
1946	ENIAC	2.00E−04	5.00E+03	$750,000	$6,265,000	7.981E−01
1948	IBM SSEC	8.00E−04	1.25E+03	$500,000	$3,380,000	3.698E−01
1949	BINAC	2.86E−04	3.50E+03	$278,000	$1,903,000	1.837E−00
1949	EDSAC	1.40E−03	7.14E+02	$100,000	$684,000	1.044E−00
1951	Univac I	1.20E−04	8.33E+03	$930,000	$5,827,000	1.430E−00
1953	Univac 1103	3.00E−05	3.33E+04	$895,000	$5,461,000	6.104E−00
1953	IBM 701	6.00E−05	1.67E+04	$230,000	$1,403,000	1.188E+01
1954	EDVAC	9.00E−04	1.11E+03	$500,000	$3,028,000	3.669E−01
1955	Whirlwind	5.00E−05	2.00E+04	$200,000	$1,216,000	1.645E+01
1955	IBM 704	2.40E−05	4.17E+04	$1,994,000	$12,120,000	3.438E−00
1958	Datamatic 1000	2.50E−04	4.00E+03	$2,179,100	$12,283,000	3.257E−01
1958	Univac II	2.00E−04	5.00E+03	$970,000	$5,468,000	9.144E−01
1959	Mobidic	1.60E−05	6.25E+04	$1,340,000	$7,501,000	8.332E−00
1959	IBM 7090	4.00E−06	2.50E+05	$3,000,000	$16,794,000	1.489E+01
1960	IBM 1620	6.00E−04	1.67E+03	$200,000	$1,101,000	1.514E−00
1960	DEC PDP-1	1.00E−05	1.00E+05	$120,000	$660,000	1.515E+02
1961	DEC PDP-4	1.00E−05	1.00E+05	$65,000	$354,000	2.825E+02
1962	Univac III	9.00E−06	1.11E+05	$700,000	$3,776,000	2.943E+01

1964	CDC 6600	2.00E−07	5.00E+06	$6,000,000	$31,529,000	1.586E+02
1965	IBM 1130	8.00E−06	1.25E+05	$50,000	$259,000	4.826E+02
1965	DEC PDP-8	6.00E−06	1.67E+05	$18,000	$93,000	1.792E+03
1966	IBM 360 Model 75	8.00E−07	1.25E+06	$5,000,000	$25,139,000	4.972E+01
1968	DEC PDP-10	2.00E−06	5.00E+05	$500,000	$2,341,000	2.136E+02
1973	Intellec-8	1.56E−04	6.41E+03	$2,398	$8,798	7.286E+02
1973	Data General Nova	2.00E−05	5.00E+04	$4,000	$14,700	3.401E+03
1975	Altair 8800	1.56E−05	6.41E+04	$2,000	$6,056	1.058E+04
1976	DEC PDP-11 Model 70	3.00E−06	3.33E+05	$150,000	$429,000	7.770E+02
1977	Cray 1	1.00E−08	1.00E+08	$10,000,000	$26,881,000	3.720E+03
1977	Apple II	1.00E−05	1.00E+05	$1,300	$3,722	2.687E+04
1979	DEC VAX 11 Model 780	2.00E−06	5.00E+05	$200,000	$449,000	1.114E+03
1980	Sun-1	3.00E−06	3.33E+05	$30,000	$59,300	5.621E+03
1982	IBM PC	1.56E−06	6.41E+05	$3,000	$5,064	1.266E+05
1982	Compaq Portable	1.56E−06	6.41E+05	$3,000	$5,064	1.266E+05
1983	IBM AT-80286	1.25E−06	8.00E+05	$5,669	$9,272	8.628E+04
1984	Apple Macintosh	3.00E−06	3.33E+05	$2,500	$3,920	8.503E+04
1986	Compaq Deskpro 386	2.50E−07	4.00E+06	$5,000	$7,432	5.382E+05
1987	Apple Mac II	1.00E−06	1.00E+06	$3,000	$4,300	2.326E+05
1993	Pentium PC	1.00E−07	1.00E+07	$2,500	$2,818	3.549E+06
1996	Pentium PC	1.00E−08	1.00E+08	$2,000	$2,080	4.808E+07
1998	Pentium II PC	5.00E−09	2.00E+08	$1,500	$1,500	1.333E+08

美元币值换算成1998年的美元币值，其换算标准为各年的居民消费指数之比，该居民消费指数数据来源于明尼阿波利斯的伍德罗联邦储备银行。

巴贝奇在19世纪30年代设计了分析机，直至1871年逝世之前仍在不断完善其构想，然而却从未能完成其发明。我对于分析机的制造时间仅为一个估测值，约为1900年的某一年，此时正值机械技术成为可行技术。而对于机械技术的可行性估测基于同时期其他机械计算技术发展之上。

22. 如要了解更多有关未来计算机容量的内容，可见Hans Moravec,Mind Children: The Future of Robot and Human Intelligence（Cambridge, MA: Harvard University Press, 1988）；和Think Quest网站的“An Interview with David Waltz, Vice President, Computer Science Research, NEC Research’ Institute”。我在自己的书The Age of Intelligent Machines（Cambridge, MA: MIT Press, 1990），401－419中也讨论了此部分内容，以上三个资源都讨论了计算的指数级增长。

23. 一种数学理论，阐述了信息与噪声的区别，以及通信交流渠道承载信息的能力。

24. The Santa Fe Institute作为先驱者，大大推进了系统兴起和复杂化领域的理论和技术发展，其中为混沌和复杂模式发展做出重要贡献的人物之一便是Stuart Kauffman，其著作At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self-

Organization and Complexity（Oxford: Oxford University Press, 1995）中探究了“混沌与有序交接处的力”（摘自其中的目录）。

John Tyler Bonner在其著作Evolution of Complexity by Means of Natural Selection（Princeton, NJ:Princeton University Press, 1988）中提出了这样的问题：“一个简单的受精卵如何长成了一位结构精细的成人？一种细菌（假设是几百万年以前的）如何演化成了一头大象？”

Sante Fe Institute中另一位杰出的思想家是John Holland，他在其著作Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity （Reading, MA:AddisonWesley; 1996）中记录了他1994年在Sante Fe Institute发表的一系列演讲。

另有John H. Holland,Emergence: From Chaos to Order（Reading, MA: Addison Wesley, 1998）和M. Mitchell Waldrop, Complexity:The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos（New York: Simon and Schuster, 1992），以供参考。

第二章
机器智能：超越人类智能的那一天正在迫近



要了解21世纪，还有另一个重要的问题摆在我们面前：一种智能体是否能创造出另一种比其自身更智能的智能体？

首先，我们来看看创造了人类的智能过程：进化。

进化好比一位大师级的程序设计师，它成果丰硕，设计出几百万个物种，这些物种变化多端，独特精妙。这还只是在地球上的成果。这些软件程序都被记录下来，如电子数据般记录在一种独特分子构成的化学结构中，这种结构名为脱氧核糖核酸，即DNA。1953年，DNA结构由美国生物学家J· D·沃森和英国生物学家F·H·C·克里克首次提出：DNA是由两条脱氧多聚核苷酸长链反向平行盘绕构成的双螺旋结构，[注]不同核苷酸沿着这两条长链排成序列，都带有少量的遗传信息，这些“只读”信息长期以来控制着生命体的万千变化。

在DNA分子中，糖磷酸构成螺旋梯型长链骨架，其中包含数百万级“台阶”，每一级“台阶”都有一组核苷酸字母组成的密码，这些字母来源于4种碱基组成的“碱基对”（即A－T,T－A,C－G,G－C[注]）。人类DNA分子链长度惊人，若完全展开可长达6英尺[注]，但因其结构呈盘绕状，所以实际长度仅为1/2 500英寸[注]（约0.01毫米）。

DNA密码的复制过程根据不同机制完成：有机分子“酶”负责拆分每个碱基对，再将拆开的碱基重组，最后将两条相同的DNA分子链结合起来，其他细小的化学物质负责检查碱基对的完整性，确保复制正确无误。此化学信息转化过程的出错概率微乎其微，10亿次复制中仅有可能出现一次。除此之外，数据系统中冗余码和纠错码的存在更是大大降低了出错概率。但也不排除有漏网之鱼，它们多会造成单个细胞的缺陷。早期胚胎中的错误会导致新生有机体的先天性缺陷。然而，若这种缺陷长期演变为优势，那此类密码便会在有机体及其后代的发育过程中保留下来，成为新的密码信息。

DNA遗传密码控制着有机体内每个细胞构成的细枝末节，包括细胞形态与发育，还决定着细胞组成器官的方式。在转录过程中，特定的酶通过生成蛋白质转录DNA信息，其中包括每个细胞（乃至整个有机体）的结构、活性及智力。注

DNA复制这一过程看似非常复杂，其实极其简单。地球上存在着数百万种生命形式，从最简单的原始细菌到复杂的人类，其错综繁复的基因数据库却仅由4个碱基对组合构成。“小型记录器”核糖体分子从仅有的20种氨基酸中读取密码并复制蛋白质。地球生物体中丰富多样的功能机制都根据这一有效密码运作，如肌细胞的同步伸缩、血液中复杂的生化相互作用、大脑的结构与机能等。

这一基因信息处理装置证明了有机生物体内纳米工程（以原子为单位制造机器）的存在，因为生命机体的运转发生在原子层面。几十个原子组成的微小分子就能转码解码、转录信息、探测错误和纠正错误。所以，有机体实际上是由一个个原子构成的氨基酸分子链构造而成的。

以上便是我们对推动地球生命进化程序硬件的了解，而我们对其软件的解密工作仍处于起步阶段。进化这位编程师虽富于创造，有时

却也草率马虎。它只留给我们一套低级的目标代码（即上亿比特的编码数据），却未提供更高级的源代码（即用人类能理解的语言表示的代码），没有任何解释说明，没有“帮助”文件，没有可查文档，也没有用户手册。在人类基因组计划中，我们正逐步记下60亿比特的人类基因密码，也试着找出数千个其他物种的基因密码。注但是基因组密码的逆向工程（即解密其工作原理）费力耗时，我们才刚刚起步。不过研究基因组密码的同时，我们也对疾病、发育、衰老有了新的认识，能够对进化过程中不完善的发明进行纠正和完善。

除了缺乏过程记录，进化还是个效率非常低下的程序设计师。据现下估计，97%的基因密码不做运算，也就是说，大部分密码序列不能生产蛋白质，看上去毫无用处。真正活跃工作的密码仅为23兆字节，这比微软文字处理软件占用的空间量还要小。此外，基因密码还冗杂重复。比如，基因中有个毫无意义的序列Alu，由300个核苷酸字母组成，在人类基因组中重复出现了30万次，占人体基因程序的比例超过3%。

按照进化理论来看，基因的编程改变是随机发生的，人们通常根据整个有机体的存活率及再生能力来判断其保留价值。但基因程序控制的遗传特性不仅限于被“试验”的那一个，还包括数百万其他特性。适者生存的自然选择方法看起来很残酷，每次只能保证一个或至多几个特性发生积极变化。绝大多数改变会让事情变得更糟，所以这种基因随机编程的机制通常根本不会奏效。

人类编写程序的惯常方法与上述机制恰好相反，我们会有目的地进行程序变更设计，可以同时对程序进行多重变更，其中每一项变更的效用都经过独立测试，而不是对该程序的总生存期做一个概括评价。若我们尝试用有机体的自我进化模式来改进人类电脑程序，那这些程序必会因为不断增强的随机性而崩溃。

在一次性改进一处特性的情况下，进化能设计出极其精细的眼部结构实在不可思议。因此，一些观察家一直笃定地认为，这类错综复杂的设计不可能通过进化常用的“增量细化、逐步求精”的方法实现。眼睛或心脏这类复杂部位的设计必须一次成型才行。

如眼睛这般复杂的结构设计固然需要同时兼顾许多方面，但这一点与“逐步求精”的理念并不冲突。人类在胎儿阶段似乎就开始经历进化过程，这个阶段究竟是否是人类亚种形成的必经阶段，这个问题迄今为止尚未达成广泛共识。尽管如此，医学界大多数人士认为个体发生学（一门研究胚胎发育的学科）包括了种系发生学（一门研究特征相似的物种群体进化的学科，如生物分类中的“门”）。人类的发育如鱼卵般在子宫内成形，如两栖动物般发育，又如哺乳动物般长大，等等。虽然大家对种系发生学观点不一，但从进化史中不难发现，人眼等完整复杂结构的设计的确经历过中间阶段。尽管进化每次只能集中解决一个问题，最终也一定能够创造出结构缜密、异乎寻常的设计。

但这种增量细化的方法也有劣势：无法轻松进行一次性的再设计。比如，哺乳动物的神经元运行速度十分缓慢，而进化对这个问题仍未有改进。但人类自有其应对方法，我们会在第六章中对此做详细探讨。

进化之进化

进化这位编程大师在进化过程中，自然也有自我改进的途径，其中一种就是以DNA为基础进行编码，由此衍生出其他途径。一些如眼睛形状的设计元素以特定的方式组成难以更改的密码，从而降低变异发生的可能性。以DNA为基础的编码中还包括了探测错误和纠正错误的机制，将发生变化的概率降到最低。如此一来，重要特性的完整性便得

到了保证。由于重要特征发生变异的后果不堪设想，所以对它们的重重加密这一优势在进化过程中才能世代留传。而其他设计元素（如视网膜中感光视杆细胞和视锥细胞的数量及布局）在编码中的加密程度便没那么高了。事实上，我们可以从进化的历史记录中发现，视网膜皮层确实变化不小，而眼球形状却基本未有调整。也就是说，进化方式本身也在改变。根据加速回报定律，进化方式的改变是符合发展规律的，这是进化过程中自我提升的重要体现。

通过模拟进化过程，我们更加确信进化以“增量细化、逐步求精”的方法绝对有能力制造出精妙绝伦的结构。美国生态学家(注)托马斯·雷设计的生命进化模拟软件Network Tierra就是很好的参照样例。雷创造的“生物”就是软件中的模拟有机体，每个有机体都有“细胞”充当DNA基因密码。在模拟环境中，各有机体互相竞争，抢夺有限的空间与能源。

雷介绍说，这一人造世界的特殊之处在于，这些“生物”在互联网上自由控制150台电脑，如零星小岛组成群岛般构成了一个整体。这项研究目的之一在于探究5.7亿年前的寒武纪中，地球上的生物如何能呈现如此丰富的多样性。雷观察到这些“生物”从简单的单细胞逐步演化为复杂的多细胞有机体，多样性不断增强。他不禁感叹道：“亲眼观察到进化过程太刺激了！”雷还指出，这个世界中已发现了类似寄生虫的生物，也出现了免疫系统的概念，甚至还有了原始社交活动。但雷的模拟世界存在一定的局限性，其中公认的一点便是缺乏环境复杂性。若要深化此项研究，需要一个混沌程度合适的环境，使其更贴近真实世界，从而在推进进化的过程中起到关键作用。

模拟进化过程在实际生活中的运用之一便是电脑的进化算法。数百万电脑程序在模拟进化的过程中互相竞争，不断进化并激发潜在智能解决实际问题。但由于智能进化系统的性能不佳，借鉴透镜聚光的

原理，我们需要集中并放大其中的几项。在第四章中，我们会对此做详细讨论。

进化的智商

首先，让我们给进化点个赞。它创造了不计其数的设计，个个外形美妙，结构复杂，形态典雅，令人叹为观止，工作效率也是没的说。更有美学理论家将“美”定义为与自然进化之美相似的状态。进化创造了拥有睿智大脑的人类，人类又以自己的智慧创造了智能技术。

进化的智慧看似无穷，可事实真的如此吗？其实不然，进化有一个致命缺陷——速度极其缓慢，其创造出的设计固然巧夺天工，可历时太久，久得惊人。进化过程的开始便耗去很长时间，对于生命形态的进化来说，很长时间意味着数十亿年。人类的祖先又用了很漫长的时间才开始学会创造技术，但对现代人类而言，所谓的漫长不过是几万年，速度有了明显的提升。

谈到这里，我们不禁要问，解决一个问题或创造一项智能设计所需的时间与智力的进化有关吗？显然人类智商测试的设计者们是这么认为的，因为他们给智商测试限定了时间。我们都认为用几秒解决问题绝对胜过用几个小时甚至几年。人们常对智商测试的时间限定争论不休，然而这并没什么好争的，因为解决问题的快慢一直都是衡量进程好坏的指标。假设一只凶猛的老虎突然从树后蹿到你的面前，此时需要的是几秒内的急中生智，而不是几个小时的苦思冥想。再假设你的上司要求你设计一份营销方案，她肯定也不愿意等上100年才看到你的成果。同样，维京企鹅出版社也不愿苦苦等到千年后才出版这本书。注

进化的确已经取得了非凡的设计成果，然而用时实在太久。如果我们从时间角度考量进化的工作性能，只能很遗憾地说，进化的智商无限接近于零。但是，仅凭比零略高一些的智商（智商为零者的行为毫无章法可言），进化就已能克服过程中的熵，创造出美妙绝伦的设计。相信只要时间充足，进化也必能改正物质与反物质之间细微的不对称，达到设计的完美之境。

所以，进化只比白痴聪明那么一点点。而我们人类创造的技术之所以进化得如此高效，是因为我们将分散的能量聚集到几件事上，速度加快了上百万乃至10亿倍。与人类智商相比，进化的智商便相形见绌了（当然，科技发展日新月异，你的观点也会随之不断变化）。

宇宙的尽头

根据时间与混沌定律，宇宙的尽头是什么？

有种理论认为宇宙会无限膨胀下去。另一种理论则认为宇宙膨胀到一定程度时，其自身重力会阻碍其继续膨胀，进而产生“宇宙大收缩”，除非有另一种反重力的牵制。但若爱因斯坦提出的“宇宙常数”（也叫作“修正因子”）足够大的话，也会发生宇宙收缩。过去几个月中，我将这部分内容重写了三遍，因为物理学家各执己见，论点不一。其最新研究成果显然更倾向于宇宙无限膨胀说。

我个人则更偏向宇宙收缩说，因为有胀有缩的过程更具美感。也就是说，宇宙膨胀到一定程度后会回缩，最终收缩至一个点，并且这种膨胀——收缩的过程会无限循环。宇宙中大部分物质的运动都会循环往复，宇宙本身也应如此。以此推论，宇宙就成了一个更大宇宙中的一个波浪形粒子，这一更大宇宙又在另一巨大宇宙中运动。反过来说，我们宇宙中的振动粒子也可被视为一个个小型宇宙，其振动速率虽仅为若干兆分之一，却与我们宇

宙上亿年的膨胀与收缩类似，每个小型宇宙中又包含了无数振动粒子……我似乎扯得太远了。

如何恢复打碎的杯子

我们假设宇宙收缩，收缩阶段的特征与我们现在所处的膨胀阶段完全相反。显然，宇宙变小后，其中的混乱程度也会下降。我认为可从这一角度考量宇宙的尽头，它会最终缩回一个点，没有大小，也没有混乱。

我们认为时间是单向推进的，因为时间进程不可逆。假设我们打碎了一只杯子，很难使杯子恢复到打碎之前，这涉及热力学第二定律。由于总体的熵总是呈增加趋势，绝不可能减少，所以时间单向移动。打碎杯子增加了整体的随机性，若要恢复则违反了热力学第二定律。然而宇宙收缩进程中，混乱度降低，此时的时间也就可逆了。

宇宙的收缩致使时光倒流，进化变成退化。在宇宙时间表的后半段，时间倒退回过去。所以如果你想打破心爱的杯子撒撒气，可以选择在靠近宇宙时间表中点的地方进行。你会发现杯子刚打碎就又恢复成原状，因为此时我们跨过了宇宙时间中点，进入了收缩阶段。

现在，假设处于宇宙收缩阶段，时间倒流，那么对于我们（生活在宇宙膨胀阶段）即将看到的“大收缩”，在时间倒流阶段的生物看来则是“大爆炸”。让我们试着从处于收缩阶段的生物的视角来看问题：我们的“未来”是他们的“过去”，他们在沿着我们的“未来”往我们的“过去”行进，所以在他们看来宇宙处于膨胀阶段。假设“宇宙收缩”说成立，那么时间的两端为两次大爆炸，宇宙中的事件分别从两端出发，做相对运动，最终在时间的中点相遇。不管处于膨胀阶段还是收缩阶段，所有的生物都可以认为各自处于宇宙时间表的上半段，并且诸如熵增定

律、时间与混沌定律、加速回报定律等规律都在各自的阶段中成立，只是行进方向完全相反而已。注

时间的尽头

如果宇宙无限膨胀会如何？那么银河星系和其他星体的能量最终消耗殆尽，留下残壳遍布的宇宙还在继续膨胀。这样一来，宇宙中的随机性又会大幅提高，呈现一片混乱，无章无序。此时用时间与混沌定律推断，时间最终会停止。假如一个死寂的宇宙中无任何有意识的生命去察觉其变化，不管从西方量子力学角度还是东方主观哲学意识来看，注宇宙都将不复存在。

在我看来，上述结论都不是很正确。在本书的最后，我会与你们分享我对宇宙尽头的看法。

想想吧，人类的创造历经几千年便已成熟。不管人们如何定义“智能”这个晦涩的术语，最终，人类的创造物定会赶超人类智力。我的时间表可能略有夸张，但严谨的学者在研究后鲜有认为电脑永远不可能达到并超越人类的智慧。人类必会完胜进化，并在几千年内完成进化几亿年才完成的创造。所以，人类智慧虽为进化的产物，其智能却青出于蓝而胜于蓝。

如此看来，我们创造的智能产物终有一天也会赶超人类。虽然这种说法现在听来像天方夜谭，但从进化或人类历史角度看，本书读者在有生之年必能见证机器智能赶超人类智能的一天。加速回报定律也预测了这一趋势，它还预测了人类创造智能机器的进程会加快。而人类创造智能技术正是又一个进化自身优化的例子。进化创造了人类，人类又以更快的速度创造智能机器。可以想象，不久的将来，我们创造的智能技术又会创造出比其自身更智能的技术。

谈到“时间”问题，人类始于单细胞，对吗？

没错。

然后变得像条鱼，然后像两栖动物，最后像哺乳动物，如此云云，你知道个体发生学概括了——

是种系发生学。

这就有点像进化了，对吗？也就说胎儿在母亲的子宫里就已开始进化。

对，就是这个意思，种系发生学的英文单词是phylogeny，源于拉丁文中的“phylum”一词，意指生物分类学中的“门”。

可你又说，在进化过程中，时间加快，但有机体生命过程中时间减缓。

没错，你抓住了要点。我可以解释这一点。

洗耳恭听。

根据时间与混沌定律，在进化过程中，重要事件发生时间之间的平均间隔与混沌程度成正比，所以在定义“过程”的组成时，我们可得谨慎。进化始于单细胞形态，人类也由单细胞发育而来。两者看似相近，但从时间与混沌定律的角度研究，两者其实不同。人类成型于“一个”细胞；进化处于单细胞阶段时，其中的细胞数远不只“一个”，而是数万亿个细胞。这数万亿个细胞混作一团，其混沌程度可想而知。进化的基本走向是趋于有序，而有机体演化的走向则是趋于混乱——很明显，成熟有机体的无序程度远超过了初始单细胞。这样说清楚吗？

嗯，当然。但似乎和我没什么关系，我最混乱的时候也就是离家上大学，但现在一切又安定下来。

我从来没说时间与混沌定律能解释一切。

那请再解释一下这个说法：你说进化不是很聪明，或者说智力迟钝。但是否有些病毒和细菌的进化比人类更高一筹呢？

进化可以发生在不同的时间表上。若让进化加速，它绝对比人类聪明，软件通过模拟进化系统解决复杂问题，用的就是这个原理。

而病原体的进化是另一个进化集中放大分散的能量的例子。病毒的更新换代可以在短短几分钟或几个小时内完成，这一过程相当于人类的几十年。但是，我始终相信人类能找出疾病的进化规律。

我们少用抗生素后多少会有用处么？

没错。这其中又产生了另一个问题，即人类是否比其身体的各部分更智慧。

人类作为一个物种，自我毁灭性很强么？

没错，人类对于物种了解甚广。其他物种都以群落为单位进行交流，但它们分享的信息往往有限，也无分门别类。但人类可上知天文下知地理，知识之广是其他物种无法企及的。

那如何解释海豚之歌？

我觉得我们只是不知道它们在唱什么。

那网上聊天的猩猩又如何解释？

1998年4月27日，那只名为Koko的猩猩在美国在线上确实进行了跨物种交谈，起码她的导师弗朗辛·帕特松是这么定义这一过程的。注 但从Koko的言谈中不难看出帕特松才是幕后主导者。

可是人们可以在网上与Koko聊天啊。

确实可以，但Koko打字技能生疏。所有问题都由帕特松先转译成美国手语，Koko看懂后做出手语回复，帕特松再将手语内容转成文字输入。如此一来，帕特松就无异于外交事务中的口译员了。这又不禁让人困惑，我们是在和Koko对话，还是在和这位口译员交流。

但有一点很明确，猩猩在与人交流。正如你所说，在基因上，猩猩与我们相差不大，不是么？

猩猩确实进行着某种形式的交流。语言学家需要研究猩猩是否能理解人类的符号语言。美国佐治亚州立大学的埃米莉·萨维奇－伦贝格（Emily Savage-Rumbaugh）博士建立了一个55公顷的实验室，专门研究猩猩的交流能力，最近她提出了一个我认为很有道理的说法："他们（她的批评者）要求Kanzi（试验猩猩之一）模仿人类的所有活动，这怎么可能。他永远不可能做到这一点。可我们不能拿Kanzi的'不能'来否定其'所能'。"

我站在猩猩这边。

没错，在不想和自己的同类说话时，和猩猩聊天是个不错的选择。

你会和你的电脑聊天吗？

会，并且它能记录我说的话。我可以用口语对微软文字处理软件下达命令，注但它的互动性似乎还略有欠缺。要记住，电脑与人脑比还是简单太多了，它还需要几十年时间才能成长为人类的好伙伴。

让我们回到个体与种群的智力比拼这个话题。大多数艺术与科学的成果都是由个体完成的，很少有一群人共谱一首曲子或共作一幅画

的情况，对吧。

事实上，许多重大科技成果都是群策群力完成的。

但很多重大突破都是由个人完成的，不是吗?

很多情况下是这样的。但批评家、保守派、反对者等各方人士都在成果产出过程中起到了甄别作用。并不是每个与众不同的观点都值得深究，取得重大突破的观点才有价值。总的来说，人类大集体的智慧能力远大于个人才华。

那些高智商的犯罪分子呢?

我可没说群体的智慧一定会比个体强。

我希望21世纪的智能机器不会继承人性暴力的一面。

这一点很重要。

我可不想被一群狂暴的机器囚禁于黑暗中直至死亡。

我们在设计未来机器时会牢记这点。这一点我会记下来……

没错，就像你说的，一定要在机器进行自我创造之前设计好。

---

1. A:腺嘌呤；T:胸腺嘧啶；C:胞（核嘧啶）;G:鸟嘌呤。——编者注

2. 6英尺约2米。1英尺≈0.3米。——编者注

3. 1英寸≈2.54厘米。——编者注

4. 20世纪50年代初，科学家已经探究出了DNA的化学成分，提出了如下问题：DNA分子的结构是什么？DNA又是如何完成其工作的？美国科学家J·D·沃森和英国科学家F·H·C·克里克1953年解答了这些问题。

   沃森和克里克撰写的“The Molecular Structure of Nucleic Acid: A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid”一文刊登在《自然》杂志（1953年4月

25日）上。了解更多有关不同研究组争相揭秘DNA分子结构的内容，可阅读沃森著写的The Double Helix （New York: Atheneum Publishers,1968）。

5. 基因翻译始于DNA的局部解链，显示出DNA密码。根据此段DNA碱基密码复制产生一段信使RNA，即mRNA。携带有DNA局部碱基序列信息的加工成熟的mRNA游离出细胞核至细胞胞体中，与核糖体分子结合，核糖体利用另一种分子转录RNA，即tRNA将mRNA分子中的密码识别解读，之后以氨基酸为单位形成蛋白质。形成的这些蛋白质作为工作分子执行细胞功能。如血红蛋白，由500个氨基酸序列组成，负责将血液中的氧气从肺部输送至身体其他组织。每个氨基酸由三个核苷酸密码子组成，所以血红蛋白的基因密码需要DNA分子中1 500处的密码信息。而血红蛋白分子在人体内每秒要进行5×10^{14}次再造，其机制的高效性实为惊人。

6. 人类基因工程旨在构建起人类5万~10万个基因的详细基因序列图，并获得有关人类和其他动物DNA的结构和组成的详细信息，该项目始于20世纪80年代中期。

7. Joe Flower,“A Life in Silicon.”New Scientist 150, no. 2034 （June 15, 1996）: 32－36文中说明了托马斯·雷的研究内容。

8. 探究智能本质的系列书籍有H. Gardner, Frames of Mind （New York: Basic Books, 1983）; Stephen Jay Gould,The Mismeasure of Man （New York: Basic Books, 1983）; R.J. Herrnstein and C. Murray,The Bell Curve （New York: The Free Press, 1994）; R.Jacoby and N. Glauberman, eds.,The Bell Curve Debate （New York:Times Books, 1995）。

9. 了解更多宇宙膨胀和收缩的理论，见Stephen W. Hawking, A Brief History of Time （New York: Bantam Books, 1988）;Eric L. Lerner,The Big Bang Never Happened （New York: Random House, 1991）。

10. 详见第三章的“像机器一样思考与超载机器而思考”，以及文本框“从量子力学的角度来看意识”。

11. Peter Lewis,“Can Intelligent Life Be Found? Gorilla Will Go Looking.”New York Times, April 16, 1998.

12. Dictation Division of Lernout &: Hauspie Speech Products公司（前身为Kurzweil Applied Intelligence）的产品Voice Xpress Plus为用户提供了向微软Word软件发出“自然语言”指令的服务，以及大词汇量的连续语音识别功能。这款程序的主旨为“简化模式”，所以用户在发出指令时无须特别说明。如果用户反馈：“我很享受上周的比利时之旅。将这段内容字体再调大四个号，并改为Arial字体。希望还能再来比利时。”此时Voice Xpress Plus自动识别第二句和第三句为指令话语，并执行指令（而不是将其转录成文字）;而第一句和第四句为非指令话语，所以软件会自动将其转录成文字输入文档。

第三章
图灵的预言：机器会有意识吗？



哲学思维实验

“我又寂寞又无聊，请你陪陪我。”

如果你的笔记本电脑屏幕上显示出这样一条信息，你会不会相信这台电脑有自己的意识和情感呢？

好吧，当然不会，对电脑程序来说，呈现这样一条信息实在是小菜一碟。实际上，这样的信息出自设计该程序的人类之手，他在设计程序的时候编辑了这条信息。电脑只是展示这条信息的渠道，就像一本书或者一块福饼(注)一样。

假设我们在电脑程序中加入了语音合成程序，让电脑自己说出了这条悲伤的消息，可一切有什么不同么？虽然我们已经增加了程序的复杂性，使它学会了一些人类的交流方法，但我们仍然不能把电脑视为这条信息的原创者。

假设这条信息并非精心编程而成，而是由一个包含复杂环境模型的游戏程序推导而成，那这一程序的编程师也许永远也无法预见到此

类信息的出现。这是电脑与用户互动的时候根据自己内部的模型数据库创造的信息。现在，我们是不是越来越觉得电脑是有意识有情感的实体呢？

或许只是有点这样的想法吧。但再考量一下现有的电脑软件，逐渐明白电脑进行简短对话的能力背后的原理及其局限性后，这种幻想也许很快就会消失。

现在假设这条消息背后的机制逐渐成为一个庞大的神经网络，由硅构成，建立在人脑的逆向工程基础之上。假设我们为该神经网络开发了一套学习程序，使它能够学习人类的语言并模仿人类的知识。它的电路要比人类神经快100万倍，因而有大量的时间来阅读人类文学作品并建立自己独有的真实概念。它的创造者并没有教它怎样对外界进行回应。现在，假设它对你说："我很孤独……"

在什么情况下可以认为电脑是一个有着自由意志且有意识的媒介物呢？自从柏拉图对话集阐明了我们对这些说法的理解存在内在矛盾之后，这些概念就一直是最令我们困扰的哲学问题。

让我们站在相反的立场上，从滑坡谬误[注]的角度考虑一下吧。假设我们的朋友杰克（大约来自21世纪的某个时期）一直在抱怨自己的听力有问题，诊断测试显示，传统的听力辅助不足以恢复其听清声音的能力，因此他做了耳蜗移植手术。从前只有听力严重受损的患者才会做这种手术，但现在这种具有矫治功能的移植手术很常见，可以使病患听见所有音频的声音。这种常规手术非常成功，杰克对自己矫正后的听力很满意。

那他还是以前的杰克吗？

当然是了。从1999年起人们就可以做耳蜗移植手术了，接受手术的患者们在术前和术后并没有什么不同。

现在（回到21世纪的某个时期），杰克对耳蜗移植手术的成功大为震撼，他决定打开耳朵里内置的语音认知电路，全面提高听觉能力。这些电路已经安装完毕，无须启动其他插入操作即可运行。将这些能够代替神经的电路激活以后，通过移植手术内置在耳中的声音追踪网便可取代患者本人逐渐老化的神经声学区域。他只需为这项额外的神经软件支付现金。这一次，杰克对自己的听力仍然非常满意，因为他可以明白人们在讲什么了。

现在的他还是从前那个杰克吗？当然，毋庸置疑。

现在的杰克非常热衷于这种新型神经移植技术带来的好处。他双眼的视网膜仍然功能健全，所以还原封不动地保留着（尽管他在角膜上植入了永久性视网膜成像显示器，以便观看虚拟现实的图像），但是他决定再尝试一下最新引进的图像处理移植手术，手术完成后，他再次为眼前活灵活现的场景以及目光能够迅速捕捉到的场景感到诧异。

他还是杰克吗？毫无疑问，当然是。

杰克注意到自己的记忆力大不如前，很多时候根本想不起别人的名字以及早前发生的事件的细节等内容。因此，他又去做了记忆移植手术。效果简直令人惊叹——那些随着时间推移而日益模糊的记忆现在越来越清晰了，就好像那些事情刚刚发生过一样。但同时他也不得不努力去忘记那些不愉快的时光。

他还是原来的杰克吗？显然，从某些方面来说他已经变了，他改进后的各项能力也让他的朋友们惊叹不已。但他还是原来那个善于自嘲、满脸傻笑的他，没错，他还是原来的杰克。

为什么就此打住呢？杰克仍然可以选择扫描大脑和神经系统的各个部分（并不一定全都在大脑里）然后做移植手术，用电子电路代替

这些神经系统，这样就可以极大地提升它们的容量、速度以及能力。与此同时，还要留下一份副本，这样肉身的杰克发生不测时就能派上用场。

这样奇怪的事情肯定会让人感到不安，也许用“可怕”来形容更贴切一些。毫无疑问，在很长一段时间内这种做法都会充满争议（不过根据加速回报定律，这里所说的“很长一段时间”已经不似从前那般长了）。改善后的神经电路最终替代了那些靠不住的神经网络，这种做法带来的巨大好处令人叹为观止。

在故事的发展过程中，我们是不是失去了杰克？杰克的朋友们可不这样想。杰克仍然声称自己还是从前的自己，只不过现在是升级版杰克。他的听力、视力以及推理能力全都得到了极大改善，但人还是原来那个人。

然而，我们还要更细致地审视一下整个过程。假设杰克不是一次只接受一项手术，而是一次性全做了，他直接做了全脑扫描，把大脑中的信息储存在一台电子神经计算机当中。每个人做事的时候都想一步到位，杰克也一样，他还一口气升级了自己的肢体。一次性做了这些转型手术是否就改变了一切？好吧，一次性从神经电路变成电子电路或光子电路与一步一步的变化有何区别？就算是杰克一下子就做完了手术，他也还是从前的他，对吧？

但是杰克的大脑和身体还和以前一样吗？假设他做的是一次无创型扫描，那么其大脑和身体就不会有任何改变。他还是杰克！无论扫描后的信息后来是否储存下来制作成杰克的副本，都不会改变杰克仍然是从前的他这一事实，相对而言他并没有变化。或许杰克根本就没有注意到是否产生了一个新的自己。就这一点而言，也许我们可以创造很多个新杰克。

如果完成这个过程需要破坏旧版的杰克，那我们就要采取一些能够保证质量的步骤来确保新版杰克功能健全，这样做算不算谋杀了杰克（或者旧版的杰克自杀了）？

假设杰克接受的不是无创型扫描，那这就算是一次“破坏型”扫描。从技术角度来讲，破坏型扫描要简单得多——事实上，1999年就有了这项技术，可以破坏性地扫描冷冻神经区域，查明神经元间的连接，还可以使用逆向设计神经元的数字模拟并行算法。[注]凭借目前的带宽还无法迅速扫描大脑的每一部分，只能扫描一小部分。但是可以用同样的速度扫描其他项目，比如扫描人类基因组。1991年时研究人员若想凭借这样的速度扫描人类的遗传密码序列，那得花费几千年的时间才能全部扫描完毕。不过，当时设定了一项“14年计划”，现在已基本实现了这一目标。人类基因组计划的截止日期显然做了（正确的）预期，即我们用来给DNA遗传密码排序的方法将随着时间的流逝而加速。人类大脑扫描项目也存在同样的现象。我们现在也可以扫描人脑，但速度却很慢，不过就像受加速回报定律制约的一切速度一样，这个速度几年后就会获得指数级加速度而快速发展。

现在，假设我们已经用破坏型扫描法对杰克进行扫描，同时把信息储存在新杰克体内。可以把这一过程视为把杰克“转移”到新的大脑和身体里面。也许有的人认为杰克并没有遭到破坏，只是被转移到一个更好的化身中。但是，难道这不是对杰克做了无创型扫描，接着把信息储存在新杰克身体当中，然后再破坏了以前的杰克？如果这一步骤的顺序基本上相当于杀了杰克，那么分步转移杰克的做法差不多也具有同样的效果。因此，也可以认为任何一种转移杰克的过程都相当于让旧版的杰克杀了自己，所以新版杰克就不再是原来的他了。

电影《星际迷航》推出了虚构的以光速飞行的远程传输技术，使扫描及信息重组等概念逐渐深入人心。在这部科幻电影中，扫描和重组技术大概是在纳米工程的基础上完成的，也就是以粒子为单位建立

的，而非前文中预期的那样对神经信息处理的主要运算方法进行了重构。但这两个概念差不多。因此，可以说《星际迷航》中的角色每经历一次传输就相当于自杀一次，与此同时也创造了一个新的自己。虽然从本质上讲，这些全新的角色与从前的角色完全一样，但他们却是由完全不同的粒子构成的，除非我们想象这些真实的粒子被传送到一个全新的目的地，然后被立刻重组起来。也许只传送信息并且使用本地粒子将信息储存到新的化身当中会更容易操作一些。但这可行吗？意识究竟是真实粒子的一种功能还是只是真实粒子的形式和组织？

我们可以认为意识和身份根本不是特定粒子的功能，因为我们自己的粒子一直处于不断变化的状态当中。从细胞的层面来看，我们可以在几年时间内更换大部分细胞（不过脑细胞无法改变）。[注]从原子的层面来看，变化的周期要更短一些，我们的脑细胞也是如此。人类根本就不是一成不变的粒子集合体。物质和能量的形式是半永久式的（逐渐变化的），但是人类体内真正的物质含量却一直处于变化之中，并且变化速度非常之快。这种形式很像溪流中的水。奔腾不息的水流绕过小溪中的石块形成了一种独一无二的特殊形式，这种形式会连续几个小时甚至几年保持相对不变。但是构成这种形式的真正的物质——水其实已经在百万分之一秒之内就被替换了。这表明，我们不应该把人类的基本特性同某些特定粒子联系在一起，而应该与我们所呈现的物质及能量模式联系起来。如此看来，我们认为新版杰克和旧版杰克是同一个人的原因其实在于，他们的模式是相同的。（有的人可能认为虽然现在的杰克和以前的杰克在某些功能上相似，却并不完全一样。不过，这种质疑却避开了最关键的问题，因为我们完全可以利用纳米技术一个原子一个原子地重构杰克的信息，而不只是复制最重要的信息处理演算法则）。

当代哲学家似乎对这种“模式决定身份”的论点钟爱有加。相对于粒子来说，人类的模式变化很慢，这一观点的优点显而易见。但相反的观点认为，旧版杰克就默默地等着自己的“模式”被扫描以后储

存在新的计算媒介里，而自己将被“斩草除根”。旧版杰克也许会突然意识到“模式决定身份”这一观点是有缺陷的。

像机器一样思考与超越机器而思考

科学无法解决自然的谜题，因为归根结底，我们也是谜题的一部分。

——马克斯·普朗克

我们的所见所感，难道不是梦中之梦么？

——埃德加·爱伦·坡

倘使万物皆虚幻，没有什么是真实存在的，会怎样？若果真如此，我的新地毯一定买亏了。

——伍迪·艾伦

客观体验与主观感受之间的区别

我们是否能够把潜入湖中时的感觉解释给那些从来没有下过水的人听？能够把性带来的快感解释给那些从未有过性欲的人听（假设能够找到这样的人）?能否把音乐激发的情感共鸣解释给先天耳聋的人听？聋人当然也会对音乐有诸多了解：看别人随着音乐的节拍扭动身体，研读音乐的发展历程，了解其现实作用等。但这些都无法同亲耳聆听一曲肖邦的前奏曲相提并论。

如果用0.000 075厘米的波长观察光线，我能看见红色；换作0.000 035厘米的波长去观察，看到的就是紫色。把其他彩色光线混合在一起也能产生红色和紫色。如果红色光线和绿色光线以适当的方式混合起来，就能看见黄色光线。不过，变换波长同混合不同颜料原理不同，因为不同颜料混合起来得到的颜色只会减少，不会增加。人类对色彩的感知远比对电磁频率的感知复杂，但还是没能透彻地弄明白这其中的原理。即使我们已经有了令人十分满意的思维过程理论，这种理论也无法表达红色或黄色带给我们的主观感受。我发现语言并不足以描述自己对红色的感受，这种感觉也许可以表达得更具诗意一些，但除非你本人有过同样的体验，否则真的不可能理解那究竟是种什么样的感受。

那么，我怎么知道你在讨论红色的时候跟我有着同样的感受呢？也许你对红色的感受与我对蓝色的感受一样，反之亦然。究竟怎样才能证明我们对这些色彩的感受是一样的呢？其实，我们很清楚这些感受之间肯定会有差异。因为我是红绿色盲，很多颜色在我眼里完全一样，可别人看来却有不同。没有这种困扰的人的感受显然与我不一样，那你们感受到的是什么呢？我永远也不会知道。

巨型乌贼是一种非常奇特的社交型生物，其眼球构造同人类的非常相似（这一点很令人称奇，因为两者分属完全不同的种系），乌贼的眼球也拥有非常复杂的神经系统。几位非常幸运的人类科学家已经同这些头足类生物建立了友好关系。那么作为一只巨型乌贼又是怎样一番感受呢？当我们看到乌贼对危险做出反应并且做出的举动让我们想起人类情感时，就会推断它们的感受和人类相似。可那些无法在人类这里找到对应情感的乌贼的感受又是如何呢？

那这些家伙究竟有没有这些感受呢？也许它们根本与“机器”无异，只会对周边环境的刺激做出本能反应。也许它们根本就没有生命。有的人认为只有人类才有意识，动物只是“本能地”对周边环境

做出回应，也就是说，它们和机器一样。还有的人（包括我本人在内）认为，似乎动物也是有意识的，因为动物在表达情感的时候同人类的某些行为一样，至少那些进化程度比较高的动物表现很明显。然而这是一种以人类为中心的看法，因为这种看法只从与人类体验对等的角度来看待动物的主观体验。对于动物是否有意识的问题，人们的看法见仁见智。实际上，正是动物究竟有没有意识这个问题引发了动物权利问题之争。有些动物到底有没有在某些情境中遭受苦难？该问题出现分歧，是因为人类通常无法感受或者衡量其他生命体的主观感受。(注)

认为动物“只不过是机器”的观点十分普遍，这对动物和机器来说都是一种蔑视。现在人脑仍然要比机器复杂100万倍，机器的复杂性和敏锐性跟昆虫差不多，而昆虫的主观体验非常有限，当然，也没有什么令人信服的方法对它们的主观体验进行测量。但对于机器和高等动物（比如智人以及智人的亚种）能力的不同观点也将是短暂的。机器智能很快就会披荆斩棘，大举推进，本书随后几章会对此进行专门讨论，机器智能将在未来几十年内使机器具备同人类一样的复杂性和精确性，甚至会超越人类。那么这些机器会有意识吗？

它们会有自由意志吗？同人类一样复杂的机器能自己做决定，还是只会遵循程序（虽然程序非常复杂）?这里需要区分什么概念吗？

意识问题的背后潜伏着许多其他恼人的问题。就拿堕胎来说吧。受精卵细胞算是有意识的人吗？出生前一天的胎儿呢？很难说受精卵是有意识的，也很难断定足月的胎儿没有意识。主张堕胎合法的人与反对堕胎的人都对这两个可界定的平台之间存在的“滑坡谬误”心存疑虑。人类胚胎的大脑发育速度很快，但还不能完全被视为人类的大脑。胚胎的大脑会逐渐变成人类的大脑。同样，还有一些其他难以界定的问题，比如人类的尊严等，但基本来看，这些争论都同感觉能力有关。换种问法就是，有意识的生命实体是何时出现的？

如果通过外科手术把大脑的受损部分移除，就可以治愈一些很严重的癫痫病。这种颠覆性手术需要在大脑尚未发育完全的孩童时期就做。大脑的两个半球都可以移除，如果手术成功的话，小孩长大后和正常人无异。这是不是意味着大脑的两个半球都有自己的意识？也许存在两个自己，二者在各自的大脑半球里相处得相当融洽。也许大脑里潜藏着各种各样的意识，每个意识都有自己的观点。是否有一种意识可以认知我们人类无意识的思维过程？

对于这样的难题，我还可以继续大谈特谈。人类也的确为了这样的窘境而思索良久，比如古希腊哲学家柏拉图满脑子都在思考这些问题，在《斐多篇》《理想国》以及《泰阿泰德篇》三部著作中，他都曾表达过“意识”这一概念中固有的悖论，也表达了人类能够自由做出选择的能力。一方面，人类也属于自然世界并受其中的规则制约。人类的大脑也是自然现象，因此必须遵循因果关系定律，人类创造的机器及其他没有生命的形式都体现了这一定律。柏拉图了解机器的潜在复杂性，也了解机器能够详细模仿逻辑过程的能力。另一方面，根据柏拉图的观点，无论因果机制有多复杂，都不会产生自我认知或意识。柏拉图率先尝试用“理念论”解决这一冲突：意识并非思考机制的属性，而是人类存在的终极现实。我们的意识或“灵魂”都是不可变的，也是不能变的。因此，我们和客观世界的思维互动是建立在复杂思维过程的“机制”之上的，这一切和灵魂无关。

但柏拉图认为这样还是不对。假如灵魂是不变的，那么灵魂也不可能学会或参与推理，因为这样就需要灵魂做出改变来汲取经验或者对经验做出反应。后来，柏拉图觉得无论把意识归入哪一类（究竟是自然世界的理智过程，还是自我或灵魂的神秘层面？）都不能让自己满意。(注)

自由意志的概念反映了更深层次的矛盾。自由意志即刻意的行为或决策。柏拉图笃信以因果机制中那些固定的规则为基础的“微粒子

物理学”。但如果人类决策建立在基本粒子之间一成不变的相互作用上，那我们的决定也一定早就安排好了。这与人类的选择自由是矛盾的。在自然法则中加入一些随机性也是一种方法，但并不能解决问题。随机性可以消除决策和行为的提前预定性，但这又与自由意志的目的性相矛盾，因为在随机性里面没有任何事情是有目的的。

好吧，让我们把自由意志当作灵魂的一部分。不，这样还是行不通。把自由意志与自然世界中理性的因果效应机制分离开来，也需要把推理和学习放在灵魂当中，否则灵魂就无法做有意义的决定。现在灵魂自身变成了复杂的机器，这与其神秘的简单性又相矛盾了。

或许这就是柏拉图写下对话集的原因。这样他就可以尽情表达自己对这种相互矛盾的立场的看法。我对柏拉图的困境深表同情：这些鲜明的观点都没有充分的论据。只有通过解释悖论的对立面才能发现更深层次的事实。

柏拉图显然不是最后一个思索这些问题的思想家。对于这些问题的观点如今分成几个学派，但没有哪个学派的观点令人满意。

“意识只是一部会自我反思的机器”派

解决问题有很多办法，有一种常规的做法就是否认问题的存在：意识和自由意志只是由语言的歧义产生的假象。还有一种观点认为意识并不完全等同于幻想，只是另一种逻辑过程，这是一种可以对自身做出回应并和自己互动的过程。我们也可以在机器制造的过程中做到这一点：构建一个带有自身模式的程序，然后让这个程序自我检测并按自己的方法做出回应，让这个过程进行自我反省。这样，机器便有了意识。这是一系列进化了的能力，因为自省的思维方式本身更加强大。

驳斥“意识只是一部会自我反思的机器”这一观点的难处在于，这种观点非常有条理，但它却忽略了主观观点。它可以处理一个人对于主观体验的报告，不仅可以将主观体验同外在行为联系在一起，还可以和神经活动的模式联系在一起。仔细想一想，我对我本人之外的任何人的主观感受的了解与我对其他事物的客观了解并无不同。我无法体会其他人的主观感受，只能听听作罢。所以，这一思想学派忽略的唯一主观体验就是自身的体验（毕竟这才是“主观体验”这一术语的意思）。不过嘛，我只是几十亿人中的一分子，是几万亿可能有意识的有机物中的一个。在这颗星球上，我是独一无二的。

但是未能解释清楚我的主观体验这个问题是个严重的问题。它没能解释0.000 075厘米的电磁辐射与我对红色的体验之间的区别。我也许能了解到色彩感知是如何起作用的，人类大脑是如何处理光线的，又是如何处理光的组合的，甚至还能了解到这一切激发了怎样的神经活动模式，但还是无法解释我的体验的本质是什么。

逻辑的实证主义者[注]

我在使尽浑身解数表达我想说的观点，只可惜这个问题无法完全表述清楚。澳大利亚当代哲学家D·J·查尔莫斯将内心体验到的神秘感描述为意识的“疑难问题”，以此将该问题同大脑是如何工作的这一“简单问题”区分开来。[注]马文·明斯基发现“描述意识的时候有点奇怪：无论人们想说什么，好像总是说不清楚”。“意识只是一部会自我反思的机器”派认为这就是问题所在，仅仅将意识视为神经活动的模式无异于走进了根本无法一探虚实的神秘王国。

这种客观观点有时也被视为逻辑实证主义，这是奥地利哲学家路德维希·维特根斯坦在《逻辑哲学论》一书当中提出的哲学观点。[注]

对逻辑实证主义者来说，唯一值得讨论的话题就是我们的直接感官体验以及我们从中得到的逻辑推理。用维特根斯坦在论文中的最后一句话来说就是，“必须静静地忽略”剩下的一切。

但是维特根斯坦却没有践行自己的理论。1953年，也就是维特根斯坦过世两年后，《哲学研究》一书出版，书中提出了一些值得人们考虑的问题，这些问题正是他之前认为应该“静静地忽略”的问题。[注]显然，他想到了在《逻辑哲学论》当中最后一个观点的前因（我们本不应该讨论的）是唯一值得反思的问题。后来涌现出很多受维特根斯坦影响的存在主义者，他也许是继柏拉图之后第一位能够成功解释这样相互矛盾的观点的重要哲学家。

我思，故我在

维特根斯坦和早期受他激励的逻辑经验论者常常认为他们的哲学研究源自法国数学家勒内·笛卡尔。[注]笛卡尔的著名宣言“我思，故我在”通常被视为西方理性主义的象征。这一观点解释了笛卡尔的想法——“我思，意思是我可以操纵逻辑和符号，因此我的存在有价值”。但在我看来，笛卡尔并不想颂扬理性思维的美德。他饱受思维与肢体的问题之困，即思维如何从非思维当中产生，大脑这样普通的物质如何产生想法与情感。将理性的怀疑论放至极限来看，这一观点的真正含义是“我思，意思是有一种不可否认的精神现象。有些意识发生了，所以我们能够确定的一切就是有些东西（我们称之为‘我’）存在”。如此看来，笛卡尔的观点和佛教当中认为意识才是基本事实的概念差不多。

在2030年以前，还会出现一些机器声援笛卡尔的观点。届时，这种声援将不再是一种程序性的回应，而是既认真又令人信服的表达。如果它们声称自己是拥有决断力的实体，我们该相信它们吗？

“意识是另一种物质”派

意识和自由意志一直是宗教思想关注的重点问题。在宗教当中我们会遇到形形色色的现象，从佛教当中对意识的典雅定义到装饰华美的万神殿（里面住着神灵、天使和诸神）。当代哲学家所提出的理论也有类似的类型，该类型认为意识只是世上另一种基本现象，就像粒子和力一样。我将持该理论的流派称为“意识是另一种物质”派，这一学派的观点认为意识对物质世界造成了干扰，与科学实验有冲突，意识一定可以获胜，因为它有能力证明自己的远见。这一观点甚至脱离了物质世界，创造了一种非常复杂的神秘主义，让人无法证实，并且一直处于争议之中。这一观点还能保持简单的神秘主义，只提供有限的客观看法，不过主观看法完全是另一回事（必须承认我个人比较喜欢简单的神秘主义）。

“我们太过愚蠢”派

另外一派观点认为，人类只是无法理解这个答案而已。美国人工智能研究员道格拉斯·霍夫施塔特认为：“我们的大脑太过简单，还无法了解自己，这一点也许只是命运中的一次意外。行动迟缓的长颈鹿便是一个例子，它们的大脑发育水平明显无法满足它们自我了解的需求——不过这一点和人类大脑很像。”(注)然而据我所知，长颈鹿还不懂提出这些问题（当然，我们也无法得知它们平时在想些什么）。依我看，如果我们真的聪明到能提出这些问题，也一定能聪明地回答这些问题。不过，“我们太过愚蠢”派指出，我们确实太过愚笨，因此都没办法明确地说出这些问题到底是什么。

综合各方观点

我本人的观点是，将上述各学派的观点综合起来看，这些看法都正确，但是一个一个单独看又显得不太充分。也就是说，把这些观点综合起来就可以得出真相。这也反映了我的“唯一神教派”的宗教观，我认为全世界各种宗教都是“通往真理的道路”。当然，我的观点也可能是最糟的。表面来看，我的观点自相矛盾且毫无意义，其他学派的观点至少有一些连贯性和一致性。

像思考那样思考

对了，还有另一个观点，我称之为“像思考那样思考”派。艾伦·图灵在1950年的一篇论文中提出了“图灵测试”的概念。在该测试中，一位人类裁判采访了一台电脑以及一位或多位使用终端的人类用户（因此人们不会认为裁判因电脑缺乏热情的外表而对它们抱有偏见）。注如果人类裁判不能识别电脑的真实面目（它们是人类的冒充者），那么电脑就获胜。该测试通常被视为计算机的智商测试，这是一种确定电脑是否达到人类大脑智能的方式。但依我看，图灵做这一测试的真正目的是为了检测电脑的思考能力，他假借测试的名义来测试电脑逻辑和语言之外的能力。对图灵来说，思考就意味着有意识、有目的。

图灵对计算能力的指数级增长有着清晰的概念，并且预言电脑将在20世纪末通过这一与自己同名的测试。那时的他曾经说道：“文字的使用以及大众对教育的观点都会改变很多，因此，我们说起电脑也会思考的时候都不会有人反驳。”从时间范围来看，他的观点有点乐观了，但我觉得它不久就会实现。

最后，图灵的预言预示着电脑思考的问题将如何得以解决。电脑会让人类相信它们是有意识的，它们有自己的计划安排并且值得人类尊重。我们会相信它们有意识，就像相信其他人类也有意识一样。它

们不是宠物，我们应理解电脑的情感和努力，因为它们的思维建立在人类思考的设计基础之上。它们也会体现出某些人类的品质，声称自己也是人类。而我们会对此深信不疑。

从量子力学的角度来看意识

我常常梦见自己在下坠。这种场景通常在野心勃勃的人或是登山者的梦里出现。最近，我梦见自己在一块峭壁的表面攀爬，但眼看着就要撑不住了。碎石开始往下掉，我抓住了一株灌木，但很快它就被我拽松了，在一片冰冷的恐惧之中我坠入了深渊。我突然意识到，我下坠的状态是相对存在的，深渊根本没有底也没有尽头。我顿时心头一喜，我意识到自己的本质及生活的原则是不会被摧毁的。我继续向下坠落，广阔天空的穹顶拥抱着我，我为群星之美而放声高歌，歌声伴我平静地融入这黑暗之中。

——美国物理学家、量子力学研究者海因茨·帕格尔斯，1988年于一次登山事故中不幸遇难

西方的“客观”观点认为物质和能量呈旋涡状盘旋几十亿年之后，终于创造出生命——物质和能量复杂的自我复制形式，这种形式后来进化得非常高级，可以反思自己的存在，反思物质和能量的本质，反思自己的意识。与之相反，东方的“主观”观点认为先有意识——物质和能量只是有意识的物体的复杂思维而已，如果没有思想家，思想就没有真实性。

前文提到，从人类历史有记载以来，有关事实的主客观之争就一直没有停过。但把这两种看似矛盾的观点结合在一起才能进一步理解问题。50年前，量子力学就遇到过同样的情况。当时有人认为电磁辐射（比如光）是粒子流（即光子），有人则认为是振动（即光波），最终这两个观点没有折中，而是融合为一套不能简化的二元论。虽然仅凭我们的直觉模式不可能理解这种想

法，但如果不接受这一明显的悖论，就无法清楚地解释我们身处的世界。量子力学当中的其他悖论（比如电子“隧道效应”，指晶体管中的电子会出现在障碍物的两侧）协助开创了计算机时代，也许会在量子计算机这一形式当中开启新的革命时代，注但此处不再赘述。

一旦我们接受了这一悖论，好戏就要上演了。在光的二元论假设当中，量子力学已经发现了物质和意识之间的本质联系。在有意识的观察者用强制手段控制粒子的走向之前，它们显然没有决定到底要走哪条路线，甚至不知道自己曾走过哪些路线。或许也可以说，除非我们注意到它们的存在，否则这些粒子似乎并没有打算留名于世。

所以，20世纪的西方科学开始向东方的观点靠拢了。宇宙非常端庄神圣，因此西方那套从物质当中产生客观意识的观点与东方从意识当中产生物质的主观观点显然是另一种不可简化的二元论。当然，意识、物质和能量三者之间也是紧密相连的。

在这里，我们还会注意到，量子力学与计算机模拟的虚拟世界之间有一定的相似性。现在的游戏软件可以展现虚拟世界的形象，虚拟环境中未与用户（屏幕外的用户）互动的部分通常也没有被详细计算过。电脑有限的资源直接供应给用户正在观看的那一部分世界。如果用户关注其他角度，计算资源就会立即去创造、展示新的角度。因此，似乎那些屏幕外的虚拟世界的部分仍然“在那儿”，但是软件设计者认为没必要在无人关注的虚拟世界区域中浪费电脑宝贵的计算能力。

我认为量子理论的有效性与物质世界的差不多。在观察者强制设定粒子的路径之前，它们似乎并没有决定到底选择哪条路线。也许我们生活的世界事实上还没有完全展示出来，直到一些有意识的观察者把注意力转移过来才行。毕竟，没必要浪费宇宙

为我们提供的神圣计算机当中高贵的“计算资源”。对于森林里没听说过的树倒下这个问题，此刻又有了新意义。

对于多种意识的看法，可否这样说——我的意思是，如果我已经决定了要做一件事情，那我头脑中的其他意识会不会替我做其他决定?

我想你的决定是不要一下吃光刚才享用的小松糕。

说得对。好吧，这是不是你所谈论内容中的一个例子?

马文·明斯基的著作《心智社会》（The Society of Mind）当中有一个更贴切的例子，他在书中把我们的思维设想成由其他思维组成的社会——有的喜欢吃小松糕，有的比较自负，有的是健康意识，一些负责下定决心，另一些却专门搞破坏。而反过来看，这些社会又是由其他社会组成的。在这个层次结构的最底端是一些小型机制，明斯基称之为只有一点儿或根本没有智力的智能体，这是一种关于智能体组织的相当可观的愿景，其中包括复杂的情感和互相冲突的价值观等现象。

听上去就像一场伟大的正当防卫。“不，法官，不是我干的。是我大脑里的另一个家伙干的！”

就算法官决定把你大脑中的另一个家伙锁起来，对你也没什么好处。

那我大脑中的整个社会都免遭麻烦了，不过思维社会中的哪一种思维才是有意识的呢?

我们可以想象思维社会中的每一种思维都是有意识的，尽管层次最低的那些思维意识相对较少。或许意识是为高层次的思维保留的；

或许只有某些层次较高的思维集合在一起才会产生意识，而其他的则没有意识；又或许……

等一下，怎样才能知道答案究竟是什么？

我觉得没办法解答这个问题。我们能做什么样的实验来总结并证明一个生命实体或过程是否有意识呢？如果一个实体说："嗨，我才是有意识的。"这样能解决问题吗？如果这个实体在表达某一种情感的时候非常具有说服力，那我们就可以相信它吗？如果仔细观察它的内部装置，看见一个反馈回路可以自我检查并自我回应，这是不是意味着它有意识呢？如果我们在其中的神经放电当中看见了形式的某些运作方式，这是不是更有说服力？诸如丹尼尔·丹尼特这样的当代哲学家似乎相信，实体的意识是一种可测试可测量的属性。但我认为从本质上来看，科学只与客观事实有关，我认为它无法上升到主观水平。

如果通过图灵测试是不是就具备了主观能力？

图灵也是这么想的。由于缺少令人信服的方法来建造一台意识探测器，他采用了一种实用方法，这种方法强调人类能够使用语言这一独特属性。我认为图灵的这个方法是正确的——如果机器能通过图灵测试，我认为人们就会相信这台机器有意识。当然，这还不是一个科学的证明方法。

但是它的逆命题也不能令人信服。鲸鱼和大象的大脑比人类的体积更大，因此能够表现出很多知识渊博的观察者所说的智能行为。

我将其视为有意识的生物，但是它们也无法通过图灵测试。

它们甚至没办法敲击我电脑上那些小小的键盘。

的确如此，它们没有手指，对人类的语言也不太熟悉。显然，图灵测试是以人类为中心的一种测试法。

这些有意识的生物与之前讨论的时间问题之间有什么关系吗？

有的，我们能清晰地感知到时间。我们对时间流逝的主观体验——要记住“主观”是“有意识”的另一种表达法，是由客观过程的速度所掌控的。如果我们把计算的基质替换一下，就可以改变速度，这样也就影响了我们对时间的感知能力。

请再解释一遍。

举例来说吧。如果采用21世纪初先进的无创型扫描技术（一种具有高分辨率、高速带宽的磁共振成像技术）来扫描你的大脑和神经系统，也许可以探明所有的主要信息处理过程，然后把信息下载到先进的神经计算机当中，这样我的私人电脑里就拥有了一个小小的你，或者至少有一个和你非常相似的人。

如果我的个人电脑是由电子材料（而不是人脑当中那种物质）构成的模拟神经元的神经网络，那么电脑当中的你运行速度要快100万倍，我眼中的一个小时将是你眼中的100万小时。

那太棒了，你可以把我放进你的电脑，然后在我的主观世界的一两千年当中忘了我。

那我们必须得小心行事，对吧？

---

1. 福饼，国外中餐馆的特产，这种饼干很脆，拦腰掰开，空心处藏着一张小纸条，印着中英文对照的签语，每个饼干中的签语内容都不一样，或是充满哲理，或是吉祥甜蜜，或是美文诗句。——译者注

2. 滑坡谬误，一种逻辑谬论，即不合理地使用一连串的因果关系，将“可能性”转化为“必然性”，以达到某种意欲之结论。——译者注

3. 若想了解大脑扫描的研究现状，可参考Vincent Kiernan,“Brains at Work: Researchers Use New Techniques to Study How Humans Think”,Chronicle of Higher Education （January 23,1998, vol. 44, no. 20, pp. A16－17），该文讨论了利用磁共振成像描绘大脑进行复杂思考时的活动。

Marcus E. Raichle ,“Visualizing the Mind”，刊登于Scientific American 1994年第4期，该文说明了各种大脑成像技术的背景知识，包括MRI、正电子发射计算机断层显像技术、脑磁图仪和脑电图描记器。

Tabitha M. Powledge,“Unlocking the Secrets of the Brain”分为两部分，刊登于Bioscience 47 7－8月刊（pp. 330－334 and 403－409）,1997。

4. 骨髓的造血细胞和皮肤的特定皮层生长和再生十分频繁，几个月之内就能自我复原。与之相反的是，肌肉细胞几年都不会再生。一直以来，生物学中认为神经细胞自人出生以来就不会再生，然而最新科研显示，灵长类动物神经细胞存在再生的可能性。普林斯顿大学的Elizabeth Gould博士和洛克菲勒大学的Bruce S. McEwen博士发现成年狨猴大脑中海马体（大脑内与学习和记忆有关的区域）内可形成新的脑细胞。然而动物感受到压力时，海马体内新造脑细胞的能力就会消失。具体研究内容见Gina Kolata,“Studies Find Brain Grows New Cells,”The NewYork Times, March 17, 1998.

其他细胞会按照需要进行生长与再生活动。例如假设移除了7/8的肝细胞，剩余的细胞会进行再生，直至整个肝脏复原。Arthur Guyton,Physiology of the Human Body, fifth edition （Phila., PA: W B. Saunders, 1979）: 42－43.

5. 人类种族、国籍和其他群体压迫也以同样的方式被正义地伸张。

6. 柏拉图著作的希腊文和英文版见Loeb Classical Library出版的版本。柏拉图哲学思想详见J. N. Findlay, Plato and Platonism: An Introduction.柏拉图对话部分摘自D. Hyland,“Why Plato Wrote Dialogues.”Philosophy and Rhetoric 1 （1 968）: 38－50.

7. 逻辑实证主义的有关简史可参读A. J. Ayer,Logical Positivism （New York: Macmillan, 1959）: 3－28.

8. David J. Chalmers区分了“意识的易题和难题”，且认为“难题的解决方案完美地避开了所有的传统说明方法”，出自论文“Facing Up to the Problem of Consciousness.”Stuart R. Hameroff, ed., Toward a Science of Consciousness: The First Tucson Discussions and Debates （Complex Adaptive Systems）（Cambridge, MA: MU Press, 1996）.

9. 早在20世纪初，奥地利哲学家路德维希·维特根斯坦就用逻辑实证主义的分析方法系统地定义了客观主义。这一哲学思想学派的主要思想来源于维特根斯坦的第一部著作《逻辑哲学论》，这部著作直接对之后计算理论和语言学的诞生产生了重大影响。这本书刚出版时并未大卖，且为了确保书出版，还借用了罗素的思想影响力。

维特根斯坦曾预测早期计算机编程语言，在《逻辑哲学论》一书中他用数字标出了各条论述在其思想体系中所处的层次。开头第一条：“世界就该如此。”意指他写书的雄心壮志。最经典的论述为第4.0.0.3.1条：“所有的哲学都是对语言的批判。”最后第7条：“不可言者当以沉默待之。”那些在早期维特根斯坦思想中寻求哲学根源的思想家始终认为这部著作简短精悍，可谓19世纪最有影响力的哲学著作。Ludwig Wittgenstein,Tractatus LogicoPhilosophicus, translated by D. F. Pears and B. F. McGuiness, Germany, 1921.

10. G. E. M. Anscombe翻译的《哲学研究》一书前言中提到，维根斯坦“承认”他在其早期作品《逻辑哲学论》中犯了一些“重大的错误”。

11. 了解笛卡尔的生平，见The Dictionary of Scientific Biograph, vol. 4, pp. 55－65.若要了解笛卡尔的哲学思想及相关思想体系，可参读Jonathan Ree, Descartes.

12. 摘自Douglas R. Hofstadter, Godel, Escher, Bach:An Eternal Golden Braid （New York: Basic Books, 1979）.

13. “Computing Machinery and Intelligence,”Mind 59 （1950）: 433－460, reprinted in E. Feigenbaum and J. Feldman, eds.,Computers and Thought （New York: McGrawHill,1963）.

14. 若想了解更多量子力学的内容，可参读George Johnson,“Quantum Theorists Try to Surpass Digital Computing,”New York Times, February 18, 1997.

第四章
人工智能的万能公式：也许很快就能找到



人工智能运动

如果这些理论都成立，又有人能将我们神奇地缩小，然后趁别人思考的时候把我们放入其大脑，那样会发生什么事呢？没错，我们会发现那里的泵、活塞、齿轮、杠杆在不停地工作，我们可以用各种机械术语完整描述这些部件的运转方式，进而完整阐述人脑的思维过程。而这个描述中并未用到任何包含“思维”的字眼，它包含的只有泵、活塞和杠杆的相关描述！

——戈特弗里德·威廉·莱布尼茨

“人工愚蠢”（artificial stupidity，AS）可以定义为计算机学家们为开发各种程序所做的尝试，这些程序会导致某种类型的问题，这些问题通常都与人类思维有关。

——华莱士·马歇尔

人工智能研究的是如何让机器在现实生活中做它们在电影里做的那些事情。

——阿斯特罗·特勒

查尔斯与阿达之协奏曲

说起智能机器的演变，我们就得回到1821年。英国剑桥分析学会的办公室中，数学家查尔斯·巴贝奇伏在案前，面前放着一张对数表。

见他半梦半醒的样子，另一名学会会员不禁问道："巴贝奇，做什么白日梦呢？"

"我在想是不是可以用机器计算这些表格！"巴贝奇答道。

从那时起，巴贝奇便夜以继日地为这个愿景努力着：制造世界上第一台可编程的计算机。凭借着19世纪并不发达的机械技术，巴贝奇居然设计出功能强大的"分析机"，开创了现代计算机的先河。(注)

不久之后，巴贝奇遇见了美丽的阿达·洛芙莱斯，她是英国伟大诗人拜伦唯一的合法后代。和巴贝奇一样，阿达对这项研究也颇为着迷，还为这台机器的编程提供了许多奇思妙想，其中包括包含循环体的程序及子程序等概念的提出。阿达成了全球首位软件工程师，也是20世纪前唯一一位软件工程师。

阿达·洛芙莱斯不仅大大拓展了巴贝奇的设计思路，还撰文一篇，介绍了编程技术，列出了几个程序样本，并预测此项技术有朝一日或与人脑智慧相媲美。在文中，阿达讲到她本人及巴贝奇对这台分析机及未来可能出现的类似机器的智能预测，他们认为这些机器会具

备下棋或编曲的能力。在这篇文章的结论部分，阿达指出，虽然这台分析机的计算过程还称不上“思维”，但这一过程仍能执行许多活动，而这些活动需要广泛应用人类思维。

然而，巴贝奇与阿达·洛芙莱斯二人的协奏曲却悲怆结尾。阿达36岁时因癌症痛苦离世，留下巴贝奇一个人独自追寻梦想。尽管此后巴贝奇灵感不断，夜以继日，可那台分析机最终还是没有制成。弥留之际，巴贝奇提到，他一生当中没有一天是快乐的。1871年巴贝奇过世，前来参加其葬礼的悼念者也寥寥无几。[注]

巴贝奇去世了，但他的构思仍存留于世。1944年，哈佛大学博士霍华德·艾肯与IBM公司联手，借鉴巴贝奇分析机的构思，在美国制造出世界上第一台可编程的计算机Mark Ⅰ（“马克1号”）。艾肯曾经说：“要是巴贝奇晚出生75年，可编程计算机也就没我什么事儿了。”[注]

查尔斯·巴贝奇和阿达·洛芙莱斯是引领时代的创新者，他们的思想超前了100年。尽管最终没能将自己的重大创意照进现实，但他们提出的计算机存储程序、自动修改密码、可寻址存储器、条件转移以及计算机编程等概念都为当今的计算机奠定了基础。[注]

走进艾伦·图灵的世界

1940年，希特勒大肆侵占了欧洲大陆，远离大陆的英国也随时准备着对抗纳粹的侵略。英国政府召集了全英顶级的数学家和电气工程师，组成了一支以天才艾伦·图灵为首的精英小组，担负破译德军密码的任务。当时，德国空军在空战中占有绝对优势，可想而知，解密任务一旦失败就意味着英国的灭亡。为了免受外界干扰，整个图灵小组都搬到英格兰南部哈特福德郡的乡村牧场，以潜心工作。

图灵及其同事利用电话继电器制造了世界上第一台可操作的计算机，并以美国著名漫画家鲁滨孙的名字命名，(注)因为他绘制了“鲁本·戈德堡”机械的雏形（这是一种外部造型华丽、内部各部分相互牵制的机械）。图灵小组研发的电脑取得了巨大成功，它几乎破解了所有纳粹机要文件，为英国军队提供了重要信息。之后，德军给发报的英格玛机增加了编码轮，逐渐增加了密码的复杂度；图灵小组对此也采取了应对措施：他们用2 000个电子管制作了一种电子装置，并取名为“巨人”，代替原有的电磁设备。除此之外，图灵小组还制造了9台类似的机器，使其不间断地运转，形成了强大的解码系统，为盟军提供了关键的军事信息支持。

图灵小组提供的信息须由英国政府直接控制和使用，为避免德方怀疑，以防德国空军发现密码已被破解，就连那些要遭到轰炸的城市当时也未采取任何预警防御措施。使用“鲁滨孙”和“巨人”提供的信息必须万分谨慎，但破译英格玛密码已足以让英国皇家空军赢得这场战争的胜利。

由于战争的催化作用，在原有人工智能多样化的基础上，一种新型智能诞生了。

人工智能问世

图灵认为电脑的计算过程与人类的思维过程极为相似。他不仅建立了大量电脑应用理论，发明了第一台可操作的计算机，同时也是最早将此项技术运用到人工智能领域的重要人物。

在其发表于1950年的经典论文《计算机器与智能》（Computing Machinery and Intelligence）中，图灵提出未来50年内高级计算机的研发程序：棋局对弈、进行决策、理解自然语言、翻译、定理证

明，当然还包括已有的加密与解密功能。[注]图灵还与好友戴维·钱珀瑙思共同编写了第一个下国际象棋的程序。

撇开天才数学家的身份来看，图灵本人不染尘俗，且极度敏感。他的爱好也异于寻常，从高雅悠扬的小提琴到艰深难懂的形态发生学（与细胞分化有关），兴趣十分广泛。但是当时媒体向公众披露图灵同性恋的新闻令其饱受困扰。图灵41岁便离开人世，有人怀疑他是自杀。

难事不难

20世纪50年代，社会飞速发展，一些早期研究者意识到掌握人脑的功能机制也许并非难事。1956年，人工智能研究专家艾伦·纽厄尔、J·C·肖和赫伯特·西蒙设计了一套名为“逻辑理论家”的程序，1975年又更新了一个版本，名为“通用问题解算机”，修改程序时运用递归搜索技术解决了许多数学问题。[注]递归是程序调用自身的编程技巧解决问题的有效方法，本章后面的内容会提及这一方法。“逻辑理论家”和“通用问题解算机”非常适用于定理证明，许多专家利用这两套程序证明了罗素和怀特海经典作品《数学原理》（Principia Mathematica）中的定理，[注]就连之前无人能解的一项定理也被完整地证明出来了。基于这些成功事例，西蒙和纽厄尔在发表于1958年的论文《启发式问题求解：运筹学的下一步发展》（Heuristic Problem Solving: The Next Advance in Operations Research）中写道：“现在世界上已有了会思考、会学习、会创造的机器。并且，它们这方面的能力会得到越来越快的提高；不久的将来，这些机器解决问题的能力有望与人脑相媲美。”[注]论文中还预测了10年内（即到1968年），电脑将摘得国际象棋的桂冠。10年后，毫无悔意的西蒙再次预言：到1985年，“只要男人能干的工作，电脑都

能干”。西蒙这样讲是否只是想大赞女性卓越的工作能力呢？但这些预言与图灵的预测比起来不免显得过于乐观，这也使当时才刚刚萌芽的人工智能研究陷入窘境。

时至今日，这种窘迫的状态依旧制约着人工智能领域的发展，业界科研人员也谨言慎行，不敢再妄下断言。1997年，超级电脑“深蓝”打败了当时的国际象棋冠军加里·卡斯帕罗夫，彼时一位著名教授也仅做了如下评价：“这件事告诉我们，国际象棋冠军赛根本不需要什么智能嘛。”[注]这话的言外之意即人类还远远没有掌握真正的机器智能。在此，我并非要拿“深蓝”计算机的胜利大做文章，我只是认为，从这个角度来看，我们最终会发现所有人类活动其实都不需要“真正的”智能。

20世纪60年代，人工智能研究领域逐渐实现了图灵1950年提出的研究计划。其结果是好是坏，全因个人审视角度而异。美国人丹尼尔·G·博布罗开发的名为“学生”的软件能解出英语故事中表述的代数问题，据说在高中数学测试中的成绩也很不凡；[注]同样，托马斯·G·伊万设计的“类比”程序也能出色地解答智商测试中的几何类推问题。[注]爱德华·A·费根鲍姆设计的DENDRAL系统能解答有关化学化合物的问题，[注]专家系统的研究领域由此开启。特里·威诺格拉德的SHRDLU系统能理解有意义的英语句子（只要你谈到彩色方块即可），这是人工智能理解人类语言的开端。[注]

创造一种新型智能的想法总会激发人们缺乏批判意识的巨大热情，同时还会催生一批配套电子硬件。而人工智能领域的拓荒者们肆意放纵的热情也招来许多批评，因为那些早期的程序尚不完善，无法根据不同情况做出智能反应。有些批评家（其中最著名的当属美国存在主义哲学家休伯特·德莱福斯）预言，电脑永远无法与人脑相提并论，诸如下棋与文字创作等活动，电脑的水平不可与人脑同日而语。

然而事实证明，一些我们认为十分困难的事情——比如证明数学定理，比如下几盘有一定难度的国际象棋，比如做域内推定，比如推定化学物质或者药品的成分，对电脑来说其实非常简单；20世纪五六十年代的电脑每秒虽仅能进行数千条指令的计算，但这个速度也足以算出令人满意的答案了。可令人不解的是，一个5岁小孩都能做的事情，如辨别猫和狗、看懂动画片等等，电脑却无能为力，这着实让人费解。我们将在本书第二部分探讨为什么对电脑来说，容易的问题反倒变难了。

等待真正的人工智能

20世纪80年代，人工智能步入商业化时代，各地掀起了一股人工智能公司成立上市的浪潮。然而进展却不尽如人意，因为许多公司犯了一个错误：他们投资了一种功能强大却效率低下的电脑语言LISP，这种语言曾在学术界轰动一时，但在商业界却并不受欢迎。LISP的失败致使以其为重点项目的企业陷入困境，一些涉及自然语言理解、特征与语音识别、机器人、机械视觉等其他领域的公司一度想要摆脱“人工智能”的标签。

然而，智能机器的发展却十分迅猛。到20世纪90年代中期，强大的数据系统和技巧的应用已经在金融机构普及开来。股票、债券、货币、商品等金融市场都由计算机化的网络管理和运行。不仅如此，大部分交易项目也由软件程序根据市场模型数据库代为执行决策。1987年，交易程序的过快运行将本来应该几星期后才出现的趋势在几分钟内就显示出来了，造成了股票市场的混乱。人们随即对交易程序的算法做出适当调整，防止类似事故再次出现。

1990年以来，心电图完善了电脑心脏病诊断系统，图片智能处理程序帮助医生进行深度诊治，计算机生物工程技术利用生化模拟设备

研究和制造药物，残障人士成为智能机器的最大受益者。20世纪70年代，阅读机的发明实现了盲人和诵读困难者的正常阅读；自80年代以来，语音识别技术与机器人设备一直发挥着辅助肢体残疾人士活动的作用。

公众对信息时代的价值认知在军事战争期间发生了颠覆性的转变。1991年海湾战争中，智能机器第一次起到了决定性作用。自20世纪有记载以来，地形、人力、武器及攻守策略一直是军事力量的主要组成部分，而现在这些已被软件程序及电子科技的智能取代。如无人机的智能扫描、智能通信和编码协议技术，武器通过机器视觉计算和特征识别来自动制定目标路径等信息时代的技术已在无形中改变了战争的性质。

隐形物种

生活中，智能机器的重要地位日益彰显，它渗透进军事、医药、经济、金融、政治等各行各业，所以如果现在还在读“人工智能究竟怎么了？”之类的文章，那就有些落伍了。图灵曾做过如下预测：智能机器会在人们的生活中普及，让日常生活变得无比便捷，还会与当代的信息型经济无缝对接，让人们不知不觉就身处其中。

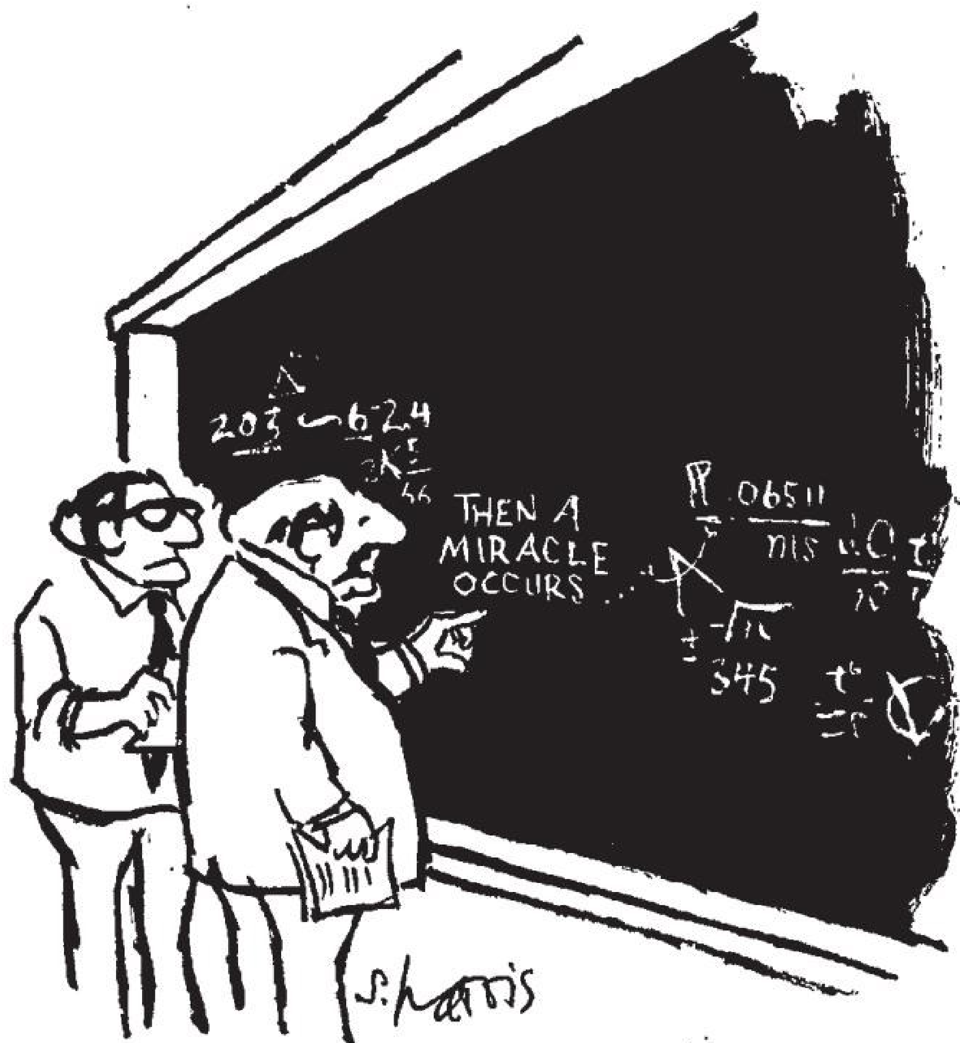
这让我想起了热带雨林的探险者。他们穿梭于雨林中，并对一个问题感到疑惑不解：“不是说热带雨林里有上万个物种么，怎么一个都看不见？”然而此时，他们方圆15米范围内就有几十种蚂蚁在活动。我们拥有的很多种类的智能机器好比这几十种蚂蚁，它们与现代生活这片“热带雨林”完美融合，隐匿于生活的各处，难以察觉。

图灵1947年在一篇论文中解释了为什么我们在生活中察觉不到机器的智能：“要判断一样事物在多大程度上以智能方式运转，不仅受

判断者主观心智与阅历的影响，也会受判断对象的客观属性左右。如果我们能对该事物的行为做出解释和预测，也就不会一心想着从智能角度考量它了。所以即使面对同一个事物，可能有的人会觉得它是智能的，而另一些人却不这样认为，因为后者已经摸清了它的行为规律。”

我想起了伊莱恩・里奇对人工智能的定义：关于如何让电脑完成当下人类更擅长的事情的研究。

作为人工智能的研究人员，我们注定永远也够不到那根悬挂在我们前方的胡萝卜，因此，人工智能也可以被定义成一门追逐电脑科技未解难题的学问。



“你的第二步应阐述得更详细些。”

智能公式

如果电脑编程员是几个领域的创造者，那他本人也是这几个领域的立法者……没有哪位编剧或导演的掌控力如此之强，能一手调度舞台，让演员们服从编排，各司其职；也没有任何一位国王能如此大权在握，运筹帷幄，调兵遣将。

——约瑟夫·魏岑鲍姆

一只海狸和一只森林动物在谈论一座巨大的人造水坝。海狸说道："虽然这座水坝不是我亲自建造的，但其建造理念由我的思想发展而来。"

——爱德华·弗莱德金

简单的事应从简为之，复杂的事应尽力为之。

——艾伦·凯

智能是什么？

目标是什么？或避开天敌、寻觅食物、找寻栖身之地，此是为生存；或分享经验、抒发情感，此是为交流；或下棋、解谜、打球，此是为娱乐；或作画或写文，此是为追求卓越。"目标"可以像数学问题的答案一样明确唯一，也可以是没有明显正确答案的个性化表达。

我认为"智能"就是对有限的资源（包括时间）进行最优化利用以达成各种目标。这个概念还有许多其他定义，在这些林林总总的定义中，我最赞同的还是R·W·扬的说法，他认为"智能就是在混乱中发现秩序的能力"。[注]下面讨论的各种范式便恰如其分地体现了这一定义。

智能可以迅速制订出令人满意（有时是出人意料）的计划，可以满足诸多限制条件。各类智能产品也各具特色，有的聪颖机智、洞察力强，有的外形优雅、设计巧妙。有些智能方案更是集所有特色于一身，最典型的例子就是图灵用来破解德军英格玛密码的机器。偶尔的小聪明有时可以解决大问题，而要切实可靠地解决问题，仅靠小聪明是行不通的，需要一个真正智能的过程。显然，目前还没有任何一个

简单的公式能概括阐述宇宙中最强大现象的奥秘，即复杂无比、神秘莫测的智能进程。

事实并非如此。要解决数量如此惊人的智能问题，只需要一个方法足矣，即简易数理方法配合大量计算（计算过程本身并不复杂，1936年图灵发明的“图灵机器”就是典型例子[注]）和充足的问题样例。有时甚至不需要问题样例，只要给出问题的明确描述便可。

利用这些简单的范式，我们能走多远呢？有些智能问题或可通过简单方法解决，但是否存在简单方法无法解决的更高级问题呢？事实证明，简单方法可解决的问题覆盖面极其广泛。最终，只要将充足大量的计算（到21世纪数量会更庞大）与正确恰当的公式准确结合起来，几乎没有解决不了的难题，唯有这个问题也许是个例外：构成智能的统一公式是什么样的？

进化花了几十亿年才给出了这个问题的答案，我们在短短几千年中为寻找正确答案开了个好头，可能再过几十年，我们就能解答这一问题。

下文中简要说明的几种方法会在附录二“如何打造一台智能机器”中做详细讨论。

下面我们将看到一些看似普通却作用强大的模式。付诸实践后，相信你也能制造智能机器。

递归公式：问题说明要仔细

所谓递归过程就是调用启动自身程序的过程。递归是一种有用的方法，可以生成一个问题所有可能的解决方法。拿下棋来说，递归可以列出每步棋后所有可能的走法。

以棋类比赛为例。我们设计了一个运算棋局走法的程序，名叫“挑选最优行动方案”。开始运行后，程序会根据当前棋局列出所有可能的走法。设计这一部分时，为了总结出所有可能的走法，我们需要考虑棋局的规则，对问题进行明确说明。针对每一步走法，该程序又会模拟假设出走这一步以后的棋局。我们又要根据假设的棋局考虑对手会如何应对。这时递归法开始发挥作用，因为“挑选最优行动方案”同样也会为对手选出最佳走法。此程序通过解答自身上一步提出的问题，又为对手罗列出所有可能的走法。

“挑选最优行动方案”不断调用自身程序，尽可能多地预测出可能的走法，步步累加，形成一棵巨大的博弈树。这是典型的指数级增长案例，因为每增加半步，电脑的计算量就会变为原来的5倍。

递归公式的答案很简单，只要对这棵博弈树修枝剪叶，阻止大树枝叶继续生长即可。下棋程序中，如果双方都无法在棋盘上继续前行，那么棋局走法的博弈树便会在此处停止扩展，此节点就成了整棵树的“最后一片树叶”，在此之前的最后一步棋便是决定胜负的那一步。

整个嵌套程序完成后，下棋程序便会在限定的时间内为当前棋局选出最佳的一步棋。当然，是在一定的时间限制内。

递归公式作用强大，造出了一部机器，一部特别设计的IBM超级计算机，打败了世界棋王（其实“深蓝”计算机录入了20世纪几乎所有顶尖级棋局对决的数据信息，并根据此数据库进行递归分析与推论）。10年前，我在《智能机器的时代》（The Age of Intelligent Machines）中提到，最强大的下棋电脑以每年45分（rating points）的速度提升自身能力，而最聪明的人脑进步几乎为零，因此，电脑会在1998年打败世界冠军。然而，我的估算还是太保守了，因为“深

蓝”计算机1997年便击败了世界冠军。希望我在本书中的预测会更准确。㊟

简易递归法可以杀一盘世界级的棋，那么问题来了，除此之外它还能做什么呢？其实，只要洞悉了其他游戏的规则，替换下棋软件中推算棋局走法的部分，便可以击败人类。德国计算机科学家汉斯·波尔莱纳利用递归法设计了一个下西洋十五子棋的程序，击败了十五子棋的冠军，而当时用的还是20世纪80年代的电脑，慢吞吞的。㊟

递归公式在数学领域也大有作为。假设要解一道数学问题，比如证明一项数学定理，所需遵循的规则就是数学领域中各项相关公理，包括之前已被证明过的定理。证明过程中，每一步扩展只要能被可用定理证明，即可成立。1957年，艾伦·纽厄尔（Allen Newell）、J·C·肖和赫伯特·西蒙利用这个方法设计了“通用问题解算机”，在一些疑难数学问题的解答上甚至超越了伟大数学家罗素和怀特海，人们也因此开始对早期人工智能有了信心。

上述例子似乎证明递归法只适用于能被明确定义规则的问题，其实不然，它在艺术创作领域也大有潜力。本书作者雷·库兹韦尔的“电脑诗人”（Cybernetic Poet）就利用递归分析法，㊟为每个单词设计了一套标准——要押韵，符合诗歌行文结构，措辞贴合上下语境。如果无法找到与这套标准匹配的单词，程序便会删去前一个单词，重新设定标准，再选词推进。若选用的词仍不合适，则重复上述过程，不断回删设定，直到找到“心仪”的单词为止。如果所有的选词都走进了死胡同，此时程序便会放松限制条件，重新选定单词。人们只看到最终的诗歌，没人知道这个程序其实违背了自己的原则。

递归法在音乐编曲程序中也备受青睐。这一次的“棋步”就是乐曲中的音符，㊟包括音高、音长、音响、演奏风格等属性。但是，如何规定预期效果就比较麻烦，我们只能对其韵律和曲调结构加以限

制。利用递归法编写艺术创作程序的关键在于如何定义“最后一片树叶”，在这里，简单的方法就行不通了，人们通常会使用更复杂的方法对其进行定义。虽然我们还无法用简单的公式完整描述“智能”，但已经通过以下两方面的结合取得了极大进步：通过精确描述问题及大量运算的递归手段解决问题。就许多问题而言，20世纪末的一台个人电脑解决起来已经不在话下了。

神经网络：自组织与人脑计算

神经网络是一种尝试模拟人脑神经元的运算方式。我们将一系列输入视为待解决的问题。[注]例如，输入为一串需要识别的图像像素，这些信息就会随机构成一层模拟神经元。每个模拟神经元都可作为一个简易电脑程序，模拟人脑神经的运算模式，也可作为一条电子执行命令。

每一个输入点（此处即图片中的每一处像素）都与第一层模拟神经元随机相连。每一个连接都有其突触强度，表示此连接的值，该值的设定也是随机的。每加入一个神经元，突触强度的信号便会相应增加。当信号增加到一定数值时，神经元就会向其输出连接发出信号；若达不到一定数值则无信号发出，输出值为零。每个神经元的输出与下一层神经元的输入随机连接。以此类推，直至最顶层的一个或多个神经元（当然也是随机选择的），向我们提供答案。

一个问题（如印刷文字识别）提交给输入层，输出神经元就会产出结果，这种有入有出的反应对于许多问题而言可谓准确迅速。可事实上，这些反应给出的答案一点都不准确，至少开始时是不准确的。输出最初是完全随机的，既然整个系统都是基于随机性建立起来的，我们还能指望什么呢？

我忽略了一个重要步骤，即神经网络有自己的学习任务。拿哺乳动物的大脑来说，其中的神经网络始于懵懂无知。神经网络有自己的老师，这位老师可能是人类、电脑程序或是另外一个已经完成学习任务的更加成熟的神经网络，它们在学生做对时给予奖励，反之则施以惩罚。“老师们”给出的反馈成了“学生们”调节神经细胞间连接强度的依据——加强正确的连接，减弱错误的连接。久而久之，神经网络便能独立判断连接的正误。研究证明，即使“老师们”的教学不准确，即使只有60%的内容是正确的，神经网络也能自我学习，学会判断连接的正误。

因此，若能正确教导神经网络，这一模式便会无限强大，可以效仿更多人类的模式识别功能。文字识别系统运用多层神经网络识别潦草的字迹，其准确度非常接近人类水平。[注]人脸识别长久以来都被视为电脑无法企及的人脑特有功能，然而，如今美国新英格兰州一家名叫Miros的公司利用神经网络技术，发明了一种人脸识别自动取款机，可以通过识别顾客样貌确认其身份，然后允许其取款。[注]可别举着一张账号用户的照片就想骗过机器的识别系统，它可没那么好骗，因为人脸识别是由两台摄像机全方位立体采集图像完成的。显然这台机器非常可靠，银行可以放心地让客户取走自己的钱。

神经网络已经在医学领域得到应用。美国加州科学软件公司开发的BrainMaker系统可以提供人体内酶的相关数据，帮助医生准确诊断心脏病。它也可以拍摄人体内部图像，帮助医生识别出癌症细胞。神经网络也擅长预测——LBS资金管理公司利用BrainMaker预测出标准普尔500指数。它提前一天甚至一星期的预测结果能够完胜传统的公式计算预测法。

如今有很多自组织方法都是由上述神经网络模型衍生而成的。其中一种名为“马尔可夫”模型的方法在自动语音识别系统中运用广

泛。如今在60 000个词汇以内，这些系统已能准确理解人类正常语速说话的内容。

虽然递归法擅长搜索各种不同可能性的组合，比如棋步的序列，但神经网络也是模式识别的一种方式。人脑比思考逻辑组合更擅长模式的识别，正是凭借这种优势，人脑才能进行思维活动。事实上，人脑识别模式大部分都是由神经线路组成的。神经元的触发间隔时间只有5毫秒，每个神经元连接每秒内只进行200次计算。[注]所以，紧急情况下，我们通常想不出太多的好方法。人脑的做法是，对分析结果进行预处理，然后将分析结果存储起来以备日后参考。随后，人脑利用模式识别能力识别出与先前存储结果相似的事件，类比先前想好的解决方法做出反应。在未经事先多次思考前，人脑通常无法想出好的对策。

信息毁灭：开启智能的钥匙

计算转换有两种方式：一种是信息存储，另一种是信息毁灭。前一种方法的典型例子就是用除0以外的数字与常数相乘，且此过程可逆：只要将所得数字除以常数即可。但我们若用0与其他数字相乘，得到结果后过程就不可逆了，无法再回到先前的数字，因为0除以0是个不定式。此种转换便毁坏了系统的输入信息。

这是时间不可逆的又一个例子（第一个是熵增定律），因为信息毁灭的过程同样不可逆。

计算的不可逆性通常被视为其发挥作用的原因：它总是对信息进行单向的、“有目的”的转换。然而，计算过程的不可逆性是在毁坏信息而不是创建信息的基础上完成的。并且，计算的价值体现在其有选择性地毁灭信息。比如，人类在进行人脸或声音识别时，计算过程

中需要保存携带特征信息的部分，“销毁”原始图像或声音数据中其他无用的部分。所以，“智能”也就是仔细筛选相关信息、有选择地毁坏冗余信息的过程。

神经网络的工作原理正是如此。人脑或机器的神经细胞会接收到成百上千的连续信号，这些信号代表着不同的信息。作为回应，神经元可以选择启动或不启动，进而筛选输入信息，选择其中有用的一小部分信息。一旦神经系统经过优化训练，信息的删减过程的目的性会更强，所得结果也会更有用、更有必要性。

我们能在人类行为及社会活动的很多层面看到此类计算范式，即将大量复杂信息精简为一个“是”或“否”的问题。法律审议便是由大量案件信息开始的，而所有审判过程的最终结果只精简到一个简单的信息——有罪或无罪，原告或是被告胜诉。虽然有些案件涉及两种审判结果，但这与我的观点并不冲突。最终的“是或否”这一结果又会引发新一轮的决策、造成其他影响。同样，在美国大选中，每个选民都会接收到大量数据（虽然并非所有信息有都用），权衡后做出最终决定：由现任者连任还是新的候选人任职。其他上百万选民也同样经过信息筛选做出最终决定，从而组成新的数据流，最终从这新的数据流中精简出一个结果——新一期任职者。

世界上存在太多的原始数据，我们不得不销毁大部分无用的信息，保留有用的部分输入到数据库中。这就是神经元“不全则无”功能背后的真谛。

下次大扫除想要扔掉一些没用的东西时，你就会知道删减过程的困难——有目的地销毁一些信息正是智能工作的本质所在。

如何抓住飞行中的球

球棒击中球后，我们可以根据球飞过来的轨迹、转向、转速以及周边风向预测球打出去的运行路线。但外场手无法直接对这些属性进行测量，只能从自己的角度观察球的走向。根据球的走向确定外场手应跑去的位置，这一过程就如求解一组极其复杂的方程式一般；随着新的视觉数据的出现，方程式中的数值也要重新设定。一个10岁的少年棒球队员若没有电脑，没有计算器，没有纸笔，未学习过任何数学课程，而且只有短短几秒钟时间，如何完成这一系列复杂的计算过程呢？

答案是，这个少年棒球队员并未进行任何计算，只是运用了自身神经网络的模式识别能力，这种能力在很大程度上为她的技能形成打下了坚实的基础。这位棒球手虽仅有10岁，但她的神经网络已经过大量对比训练，能够识别球的飞行路线与其接球位置间的关系。一旦她学会了这项技能，这就成了她的第二本能，也就是说，她不用再费神思考怎么接球，因为她大脑中的神经网络已对此类活动有了认知：如果球从我的视线上方飞来，就往后退一步；如果低于视线的某一水平线，就往前一步……人类棒球手并不会刻意花心思解答这些等式，也不会无意识地在脑中进行计算。整个过程只有模式识别系统在运作，它也是人类思维的根基。

所以，开启智能的钥匙之一在于了解什么是不需要计算的。一个成功人士不一定会在各方面优于其同龄人，她的模式识别天赋会告诉她哪些问题值得解答。

建立硅网络

现今，大多数以电脑为基础的神经网络应用都是在软件中模拟人脑的神经网络，也就是说，一台机器上存在许多台电脑同时进行平行处理的模拟汇总至这台机器，显现出的效果就是该机器每次只运算一

次。如今在家用电脑上运行的神经网络软件每秒能进行100万次神经元连接计算，人脑的运算能力是它的10亿倍（但我们可以直接用电脑的机器语言进行编码，这将大大提升电脑的运算速度）。即便如此，使用神经网络模型的软件也能让家用电脑在文字、语音和人脸识别等领域的水平接近人脑。

还有一类经过优化的电脑硬件可以模拟神经网络，这些系统也可以并行，只是规模没有那么大，其运算速度比家用电脑中的神经网络软件快1 000倍，但人脑的运算能力仍是其100万倍。

越来越多的研究人员在尝试模拟人脑的构造来建造神经网络系统：每个神经元都配有专用的小电脑，从而进行大规模数据处理。日本京都大型研究中心ATR（先进通信研究所）正在研究制造这样一个包含10亿电子神经元的人工大脑。这10亿神经元却还只是人类神经元细胞数量的1%，但因为它们都是电子的，其运行速度比人脑神经元要快100万倍。所以，ATR的这个人工大脑的整体计算速度将比人脑快上千倍。ATR的大脑制造研究小组组长雨果·德·加里斯希望能让这个人工大脑学会人类语言，可以以电子的速度快速阅读网络上那些它感兴趣的文学作品。㊟

那么上述内容是否意味着这些简单的神经网络模型与人脑神经系统的工作原理一样呢？是又不是。一方面，人脑神经系统比模拟模型更为复杂多样，神经间的连接由多个神经递质控制，绝非单一数字可以左右。人脑也不是一个单一的器官，而是由上百个结构功能各异的独特的信息处理器官组成。另一方面，在探究人脑不同区域神经结构的并行算法时，我们又发现神经元的结构与信息处理方式并无直接联系，而是与维持生命进程有关。所以人脑的计算方法虽形式多样，却也直接明了。比如，研究学者卡弗·米德发明的一种视觉芯片能逼真地捕捉人脑处理图像时的早期阶段。㊟虽然此类芯片使用的方法与上面讨论的神经系统模型不同，但这些方法仍在可接受范围内，并且已

经逐渐在芯片领域得到应用。将我们大脑中不同的神经网络分门别类——每一种模式都十分简单，这将有助于我们进一步理解人类智能，提高智能再创造的能力，最终超越人类智能。

“探索外星智能”项目期望通过了解其他地方智能物种的智能结构演变过程，扩充科学资源，提高人们的科学理解能力。注但是我们对地球上智能机器的了解也少得可怜，不过是一知半解。笔者手头的这台笔记本电脑便是一例，我就是用它来录入本书的文稿的，注我们可以也必将对这部机器的奥秘一探究竟。

进化算法：以百万倍速度进化

这里给出一条投资建议：在决定投资一家公司之前，你需要核查该公司管理经营是否得当、财务状况是否平稳、过去赢利状况如何、当前相关领域走向及投资分析师的意见等。不知不觉中你发现需要做那么多工作，下面有一种便捷的方法：

首先，在你的电脑上随机列出100万组投资规则，每组规则都应根据现有的金融数据明确定义买卖股票（或其他证券）的时机。这并非什么难事，因为并不需要每组规则都合理。然后用电子“染色体”的编码方式，将每组规则嵌入模拟软件“有机体”中。现在，我们需要用真实生活中的金融数据（网络上有很多相关资源）创造一个模拟环境，对每个模拟有机体进行评估。让每个有机体软件模拟进行金融投资，根据真实的历史数据评价其投资是否成功，从中选出收益高于市场平均水平的“有机体”存活至第二代，将其他“有机体”删除。在这之后，成倍复制留下的“有机体”，直至总体数量恢复到100万。复制过程中，可以在“染色体”中掺杂随机的变异因素，至此，第一代模拟进化完成。将上述更新换代过程再重复1 000次，进化至最后存活

下来的软件就是最聪慧的“投资者”，因为它们的投资方法经历了1000次的进化筛选后仍然有效。

现实生活中，许多成功的投资基金都认为这些在模拟进化过程中存活下来的“生物”比人类金融分析师更为睿智。道富环球投资管理公司已运用神经网络和进化算法进行买卖决策，对3.7万亿美元成功进行管理投资。这些决策包括对一家高风险企业“先进投资技术公司”的投资，结合上述两种方法成功实现资金运转，[注]还有“巴克莱全球投资公司”也利用进化算法的相关技术成功运转了950亿美元的资金，“富达和泛安戈拉资产管理公司”也有过成功案例。

上文所述的模式被称为进化（有时也称为基因）算法，该系统的设计者并不直接编写算法程序，而是通过模拟竞争和改进的过程让解决方案浮出水面。[注]这一演化过程十分巧妙但速度缓慢，若要加强其智能性，我们就必须在保证识别能力的同时加快其速度。电脑可以在几小时、几天或几星期的时间内快速模拟出上千代的进化过程，但是我们只有一次机会完整地经历这一过程。这个模拟进化过程完成后，我们便能将进化完全且高度精确的规则快速应用到实际问题中。

同神经网络一样，进化算法是对混乱的数据中包含的细微而深奥的模式加以利用的方法，这一方法最需要的就是大量有待解决的问题的案例。在金融界从不缺乏大量混乱的信息——交易市场分分秒秒发生的变化都可以在网络上找到。

进化算法擅长解决包含多种变量的问题，得出精确的计算结果。比如设计喷气式飞机引擎时，涉及100种变量和几十种限定条件，通用电气公司的研究人员利用进化算法，轻而易举地设计出引擎，比传统方法设计出的引擎更符合限定条件。

进化算法作为混沌或复杂理论领域的一部分，也越来越多地被用来解决一些棘手的商业问题。通用汽车公司利用进化算法协调了汽车

的喷漆过程，它将昂贵的换漆工序（以前，更换汽车油漆颜色时整个喷漆棚都要暂停使用）成本降低了50%。沃尔沃利用进化算法详细制定了沃尔沃770型小型卡车的生产流程。资产30亿美元的水泥工厂西麦斯也采用类似方法对其复杂的物流运输进行管理。进化算法在工业生产中逐步取代传统的分析方法。

进化算法这一进化模式还擅长模式识别。现有的进化算法在指纹、人脸、笔迹等识别领域的应用效果都要优于神经网络。进化算法还可以用于编写电脑软件程序，尤其是那些需要处理大量数据的程序，最典型的例子便是微软的Windows 95系统，其中的软件便能很好地处理资源数据，而该过程均为软件通过自我演化而成，并非人工详细编写的。

使用进化算法时，你得明白自己想要达到什么效果。约翰·科扎尝试用一个进化程序解决“堆积木”的问题。该程序演化出一种解决方案，符合问题的各个限制条件，除了如下一条：该程序将木块移动了2 319次，人们要实际操作不太现实。很明显这是程序设计员的设计漏洞，忘了限定使用最少的移动次数。科扎说：“我们想要什么，进化算法就给了我们什么，不多不少刚刚好。”

自组织

神经网络和进化算法都被视为新兴的自组织方法，因为其产生的结果不可预测，并且常常出乎设计者的意料。不仅结果无法预料，其解决问题的过程也经常无法预测。比如，神经网络或进化算法在解决一个问题时反反复复运行了上百次却几乎没有进展，但在某一瞬间——似乎程序也会灵光一现，将所有事情梳理开来，解决方法也便水到渠成了。

在制造智能机器时，我们会越来越倾向于将复杂的问题（如理解人类语言）分解成一个个小问题，每个部分都有自己的自组织程序。这类新兴的分层系统的专业界线会越来越模糊，在解决真实世界的各类复杂问题时也会有更大的灵活性。

人类记忆的全息特性

求知领域的“圣杯”就是将学习过程自动化，让机器走进现实世界（或者对于新型机器来说，走进网络世界）并能自主获得知识。

这也是“混沌理论”的诸多方法（包括神经网络、进化计算及其衍生数学方法）允许范畴之内的功能。一旦这些方法汇总为一个最佳方案，神经连接的强度或者电子染色体的进化模式都代表了一种知识形式，可以存储以备日后使用。

然而，这类知识很难阐述清楚。一个已能识别人脸的神经网络软件包含了网络结构和神经元连接强度的相关知识。比如识别系统能正确识别出张三的脸部，但它无法说明因为这张面孔有着目光深邃的眼睛、高挺的鼻子，从而识别这是张三。我们也能让神经网络学会识别棋局中的巧妙棋步，但它同样无法阐述走这步棋的理由。

人类记忆同样如此。我们能轻易认出一把椅子，并不是因为脑中有相关具体描述——椅子是一个水平面下方垂直连接多处支撑架构的结构，该水平面上方又有一个垂直面，而是因为神经网络中存储着无数次看到椅子的经验，虽无法细化到每次看到椅子的具体时间地点，但是这些经验已经留在神经连接模式中，形成了有关椅子的知识。同理，我们大脑中也没有一块特定区域存储着朋友的相貌，是突触的部位辨析及整合功能让我们记住了朋友的样貌。

虽然我们仍无法理解人类记忆的精确运行机制——有可能人脑各区域的结构还不尽相同，但我们知道大多数人脑存储的大部分信息分散在特定的区域。如果你接触过全息图，就会知道分散存储组织信息的好处。全息图是利用两束光波互相干涉的原理在胶片上生成的图像。这两束光波一束来源于被激光照明的背景，另一束直接来自同一束激光本身。在光的照射下，全息图的两束光波可以呈现出两个图像，用肉眼来看似乎就是原物体的立体投影。但不同于普通投影的是，如果我们将全息图遮住一半，所呈现的投影并不会随之消失一半，而是仍会呈现完整的物象，改变的仅是投影成像的清晰度。也就是说，图像中每个点中都存储着整张图片的信息，只是清晰度接近于零。如果不小心刮花了全息图，用激光照射它也并不会影响成像效果，只会影响清晰度而已，立体投影的图像中不会有任何刮痕，也就是说，全息图的质量相对稳定，单从成像形式无法看出损坏和瑕疵。

人类记忆也是同理。人脑每小时会损耗数千个神经元，但因为思维进程的高度分散性，这点损耗对整体几乎没有影响。㊟在人类的脑细胞中，没有哪个细胞比其他细胞更重要，不存在所谓的CEO（首席执行官）细胞。

能够说明记忆是以分散模式存储的另一个例证，就是我们几乎不了解或者根本就不了解自己是如何完成大多数识别任务、掌握大多数识别技能的。打棒球时，我们看到球飞出视野就知道要往后退，但大部分人不会通过计算说明这个规则，因为这条信息已被编码存入我们的接球神经网络了。

不过，确实有一个优化的大脑器官负责理解及清晰地表达逻辑过程，那就是大脑的外层结构，即大脑皮层。不同于大脑其他部分，大脑皮层的进化时间较短，速度较缓，厚度也仅有0.3厘米多一点，所含神经细胞也只有800万个。㊟但这层布满褶皱的器官却为我们提供了理解能力，能够让我们知道做什么、怎么做。

人脑存储长期记忆的方法是当下人们热议的话题。然而，我们最近的感觉印象以及当下活跃的识别能力与技巧似乎被译成了密码，嵌入各个分散的突触连接中，而长期记忆则似乎以化学编码的形式编入了核糖核酸或肽等类似荷尔蒙的化学物质当中。然而，即使长期记忆以化学形式存在于大脑中，它也同其他思维进程一样拥有全息特性。

记忆力和洞察力都是典型的分散存储模式（不管是人脑还是机器都是如此），要真正理解并对此做出解释并非易事。除此之外，人类面临的另外一项挑战便是提供必要的实践机会让人们学以致用。对于人类来说，这是教育机构的任务；对于机器来说，创造合适的学习环境也是一个巨大的挑战。比如，库兹韦尔应用智能公司（现已被Lernout & Hauspie Speech Products公司收购）通过让系统自行学习语言语音模式，尝试以电脑为基础开发其语音识别功能（不过这个过程中仍需要人为花费数千个小时为系统录制语音、书写上百万字的文本），使其形成自己的知识体系。(注)所以，针对神经网络的教学大概是计算机工程中最艰苦的工作了。

某位最伟大的浪漫主义诗人的女儿成为首位电脑编程师，我觉得很合适。

没错，她也是探究电脑的艺术创作能力的先驱之一，是第一个尝试将技术转变为现实的人。

但这项技术从未成功过。

你说对了，确实有些遗憾。

说到技术，你曾经说过“战争是发明之父”，因为在两次世界大战期间，许多技术在短时间内得到了完善。

包括电脑，这项技术对“二战”的欧洲战场产生了巨大的影响。

这能算大屠杀中的一线光明吗？

反对新兴技术的勒德分子可不会这么认为，但你说得没错，只要认可技术的飞速进步，这样讲就没错。

勒德分子？我听说过。

他们是第一批有组织地反对工业革命机械技术的人。英国勒德分子早已察觉，一旦有了机械运作，原本需要几十个工人完成的工作，现在只需要一台机器和一名机器操作工就已足够。这就意味着只有社会中的精英才能找到工作。但他们错了，虽然同等工作量需要的劳动力少了，但其他领域的劳动力需求量在增加。日益庞大的中产阶级不再满足于一件或两件衬衫，他们开始倾向于手工裁制的衣服。此时，设计界、制造业等很多产业异军突起，刺激了新机械、新职业的产生。所以，随着工业革命的繁荣，加之英国政府略施镇压，勒德分子便逐渐销声匿迹了。

那些勒德分子是不是还没死心呢？

勒德运动的发生源于对机械的反对态度，所以如今大众广泛认可了自动化后，这伙人也就无容身之地了。但这些勒德分子仍潜伏在平静的表面下，或将在21世纪初卷土重来。

但他们的想法也有一定道理。

话是没错，然而当今世界已没有反技术力量的立足之地。我们必须认识到技术就是力量，要将人类价值观与技术运用结合起来。

这让我想到了哲学家培根的“知识就是力量”。

是的，技术与知识有相似之处——技术可以被看作知识的一种，技术的力量凌驾于其他混沌力量之上。战争其实是争夺权利的一种形

式，所以我们也可以认为战争与技术有紧密联系。

至于技术的价值，想想火这一早期技术吧。火算不算好东西呢？

如果用来烤红薯就是好的。

没错，但如果灼烧了皮肤，或引发了森林大火，那就很危险了。

您不该是乐观主义者吗？

在别人看来我是，但我只是对人类力量持乐观态度，相信人们能掌控自己的力量。

可是我们才讨论过技术的力量是无限的。

我认为，我们应该把技术运用看作一个目标而非一种信仰。

如此看来，技术的支持者和反对者有一个公式——技术有好的一面，也有坏的一面。

这么说就对了，但好与坏之间没有明确的界线。

要是发生一次大灾难，界线就不复存在了。

没错，这样一来所有人都会变成勒德分子了。

下面我们来谈谈智能运用的例子——它们的原理真的如此简单吗？

是，也不全是。我所指的“简单”是说我们可以通过简单的方法探究智能技术。人类就是一个由简易方法——进化造就的例子，这经过了上亿年时间。当然，当电脑工程师能将简易方法运用到电脑程序中时，我们也可以让它变得更复杂，但这项工作更费力。

真正的麻烦是简易的自组织方法遇上真实世界的混乱。如果我们想要制造一种真正智能的机器，能学会人类在各种情况下的应对方法，那么我们还需要对世界的复杂性有更深入的了解。

下面让我们讨论些实际的问题。这些基于进化原理设计的金融投资类程序真的比人脑好吗？我的意思是我是不是应该摆脱我的股票经纪人？我可没发横财。

这是个很有争议的问题。那些理财经纪人和分析师当然会给出否定的答案。但是，现在已有了使用进化算法和相关数学技巧的基金，而且成效似乎优于传统型基金。分析师估算，到1998年，股票投资中5%的投资决策将由此类程序做出，相关市场的货币投资决策更是如此，并且此类应用会越来越普及。所以用不了多久你问的问题将不会再有争议，因为人们很快就会发现仅依靠人脑有着很大弊端。

计算机智能在各领域的优势会逐渐显现，正如摩尔定律预测技术将飞速发展一样。未来几年中，智能计算机技术可以迅速发现微小的商机，而人类分析师可能永远都发现不了。

但是如果所有人都用智能电脑进行投资，那不就没有任何优势了吗?

没错，但这不代表我们会回头重新使用人脑分析。进化算法在创造电脑时并非统一而划，算法模型越成熟，分析的信息越新，电脑进行分析的能力越强，做出的决策质量也会更高。比如，这些程序需要每天重新加载进化分析数据，以跟上最新走向，因为大家都在使用此程序或其他算法程序，影响了市场走向。随着进程加快，我们需要每小时甚至每分钟更新数据，这其中最大的挑战便是人类模拟进化更替的速度是否能跟上进化算法的更新速度。

现在这些进化程序正在尝试预测人类投资者的计划。如果所有投资都由此程序进行，会是什么样？它们又将预测什么呢？

问得好——但市场仍存在，所以我认为机器之间会互相预测对方的分析结果。

或许我的股票经纪人已经开始采用这项技术了。我会问问他，但我的经纪人也会做一些电脑程序无法替代的工作，也就是你提到的分散的突触信号强度。

事实上，电脑投资程序中使用了进化算法和神经网络，但是电脑神经网络却不如人脑那么灵活。

其实我们自己并不理解自己是如何进行识别的，因为我们人类的识别系统分散在大脑的各个区域。

没错。

这确实可以说明一些问题。比如我知道我的钥匙在哪儿，但我不记得什么时候放那儿的。也有原始部落的女性能预知暴风雨的来临，但说不出理由。

这是人类识别力量的体现。那些女性的神经网络必然被一些特定的组合所触动——动物活动、风向、天空的颜色、大气变化等等。当有异常时，她的风暴探测神经被触发，预知风暴来临，她自己也无法解释这其中的奥妙。

我们在科学探究时是否也是同理？突然灵光一现？

人类大脑的识别系统起到了决定性作用，但我们对人类科学探索仍不满足。不过我们最好使用模式识别系统，毕竟人脑大部分都在进行这项创造。

最近我在物理课上学到爱因斯坦曾研究重力对光波的影响，这也是因为他大脑中的某一部分被触发了吗？

很有可能，当时他可能还在和他儿子打球，突然发现球在曲面上的运动……

然后，他叫道：“有了！空间是弯曲的！”

---

1. 在巴贝奇发明计算机器的两个多世纪以前，已经出现了一些较完善的简单计算设备。1642年，法国数学家布莱士·帕斯卡发明了世界上第一台数字计算器，名为“帕斯卡林”，可进行加减法运算，几十年之后，莱布尼茨完善了莱布尼茨计算机，可通过重复加法的途径进行乘法。但相比之前的简单运算，莱布尼茨计算机对数的自动运算难度要大许多。

   然而巴贝奇未能在研究道路上走得更远——他穷尽了所有的资金来源，和英国政府在所属权问题上起了纠纷，在计算精确度提升上遇到了麻烦，眼睁睁看着他的首席工程师开除了手下的工作人员后自己也撂手走人。除此之外，巴贝奇的个人生活也充满了悲剧，他的父亲、妻子和一双儿女纷纷去世。

   至此，巴贝奇意识到当下该做的事情就是放弃差分机，而立足于难度更大的工作：创造出世界上第一台完全可编程计算机。巴贝奇提出有关分析机的新想法是可对这台机器进行编程，以解决任何逻辑或计算问题。

   该分析机有一个RAM（随机存取存储器），由1 000个词汇组成，每个词汇又由50个十进制数字构成，人们可随时访问或改写任何位置的数字并将其存储在其他任意位置。该分析机还有一台穿孔卡片读卡器和一台打印机，虽然正式的排版机器或打字机在半个多世纪之后才被发明出来。分析机中还有一个CPU（中央处理器），与现在的CPU相似，可进行不同类型的逻辑和代数运算。最重要的是，它还有一个软件专用存储器，其中包括一种机器语言，一部分十进制语言规定了计算操作，另一部分规定了运算对象的存储位置，与现代计算机十分相似。Stan Augarten,Bit by Bit: An Illustrated History of Computers（New York:Ticknor and Fields, 1984）: 63–64.

   巴贝奇描述分析机的具体内容见其1837年写的文章“On the Mathematical Powers of the Calculating Engine,”该文之后作为附录重印于Anthony Hyman,Charles Babbage: Pioneer of the Computer （Oxford: Oxford University Press, 1982）。如要了解巴贝奇和阿达的生平介绍，见Hyman的传记及Dorothy Stein, Ada: A Life and a Legacy （Cambridge,MA:MIT Press, 1985）.

2. Stan Augarten, Bit by Bit, 63－64.巴贝奇描述分析机的具体内容见其1837年写的文章“On the Mathematical Powers of the Calculating Engine”，该文之后作为附录重印于Anthony Hyman,Charles Babbage: Pioneer of the Computer（Oxford: Oxford University Press,1982）.

3. Joel Shurkin在Engines of the Mind, p. 104中将艾肯的机器称为“用IBM显卡处理的电子机械版分析机”。如要了解有关Mark I的发展历程，见Stan Augarten,Bit by Bit, 103－107. Bernard Cohen,“Babbage and Aiken”,Annals of the History of Computing 10 （1988）: 171－193中对艾肯和巴贝奇的关系提出了新的解读视角。

4. 巴贝奇根据提花织机（一种自动织布机，由穿孔金属卡片控制）的原理制作的穿孔卡片保留了下来，并为19世纪日益受欢迎的计算器自动化奠定了基础。之后随着1890年美国人口普查中首次运用的电路数据处理技术，穿孔卡片被取代，但它直到20世纪70年代一直都是计算的主要技术手段。

5. 图灵的鲁滨孙并不是可编程计算机，也不需要可编程，因为它的任务只有一项。世界上第一台可编程计算机由德国人开发。德国土木工程师康拉德·楚泽研究的初衷是想摆脱那些他称之为“土木工程师必须做的大量枯燥计算”。和巴贝奇设计的计算机器一样，楚泽的第一台机器Z－1是一台全机械式机器，还是由他父母卧室里的升降架改造而来的。之后的Z－2则利用了机电继电器，能解决复杂联立方程式。真正具有历史性意义的是第三代机器Z－3，它是世界上第一台可编程计算机。根据加速回报定律，我们可向前倒推出，楚泽的Z－3速度仍相当缓慢，简单的乘法就要花费3秒以上的时间。

   当时楚泽虽然获得了德国政府的一些支持，其发明的机器在军事中也起到了辅助作用，但德国政府首脑们始终没有正确意识到计算机器在军事中的重要性，这也是为什么他们如此依赖英格玛密码，并且坚信这种方法非常安全。而德国军方对火箭和核武器等其他先进技术却相当重视。

   楚泽和他的发明似乎注定得不到应有的关注和重视，即使在“二战”结束后还是被无视。建造出世界上第一台可编程计算机的名头通常属于霍华德·艾肯，而实际上Mark I直到Z－3出现后的第三个年头才能正常运行。楚泽的研究基金在战争中被第三帝国一扫而空时，德国政府官员还向他辩解：“德国空军是世界上最强大的，我都看不出计算能为它带来任何进步。”

   楚泽宣称的建造世界上第一台可运行的可编程数字计算机是有据可依的，有他申请到的专利证书为证。详见K Zuse,“Verfahren zur Selbst Atigen Durchfurung von Rechnungen rnit Hilfe von Rechenmaschinen”, German Patent Application Z23624, April 11, 1936.翻译节选见“Methods for Automatic Execution of Calculations with the Aid of Computers”,Brian Randell,ed.,The Origins of DigitalComputers, pp. 159－166.

6. “Computing Machinery and Intelligence”,Mind 59 （1950）: 433－460, reprinted in E. Feigenbaum and J. Feldman, eds.,Computers and

Thought（New York: McGrawHill,1963）.

7. 见A. Newell, J. C. Shaw, and H. A. Simon,“Programming the Logic Theory Machine”,Proceedings of the Western Joint Computer Conference, 1957, pp. 230－240.

8. 英国数学家罗素与其老师怀特海合著的《数学原理》出版于1910~1913年，这本书为数学指明了一种新的方法，在数学发展史中有着重要地位。罗素提出的突破性理论体系为之后图灵开发“图灵机器”需要的计算理论奠定了基础。以下是我对激发罗素灵感的“罗素悖论”的解读版本：

来到“地狱”之前，我们的赌徒朋友经历了一段艰辛的人生，他很少也不爱发脾气。在我们的故事中，他多多少少也有些像逻辑学家。但这次他杀错了人，怎么也没想到受害者是法官的外甥。

虽然已经确认他将被处以绞刑，但地方法官仍十分恼怒，并且想要把赌徒以最严酷的刑罚处死。于是他告诉赌徒他不仅会被判死刑，而且会以独特的方式被执行死刑。“首先，我们会尽快将你处死，就如同你对待受害者那般，所以行刑会在星期六之前。其次，我不想让你在死前有任何的心理准备，所以直至行刑前那一刻你都不会知晓具体的时间。你就等着我们给你准备的惊喜吧。”

听毕，赌徒回答道：“那太棒了，法官。这样我就解脱了。”

法官听了不解，问：“为什么？为什么你解脱了？我判了你死刑，越快越好，而且你不知道确切时间，没法做任何心理准备，也就是你不知道自己哪天就死了。”

“尊敬的法官，照您的说法，我的行刑日绝不是星期六。”赌徒回答道。

“这是为何？”法官问。

“因为星期六之前必须行刑，如果您真的决定的是星期六，那在这之前我就推测知道了行刑日在星期六，这样一来就没有惊喜了。”

“说得有道理。那么，行刑日将不是星期六，但我还是不理解你为什么说解脱了？”

“如此一来，我们确定排除了星期六行刑的可能性，那么也不可能在星期五行刑。”

“为何？”法官又问道，但语速放慢了些。

“如果确定了星期六不是行刑日，那么星期五快到的时候，我便知道我会在星期五被处死，这样一来照样没什么惊喜。所以我也不可能在星期五行刑。”

“我懂了。”

“所以如果是星期四行刑，那么星期四来之前我也能知道那天会被处死，依旧无惊喜而言，进而星期四排除。以此类推，可以排除星期三、星期二、星期一和今天。”

法官听着挠了挠头，赌徒被带回了监狱。

这个故事有段后记。星期四的时候，赌徒被处以死刑，死前他非常惊讶。所以法官的目的还是达到了。

这就是我对“罗素悖论”的解读，罗素或许是最后一位能同时在数学和哲学领域做出巨大贡献的科学家。如果我们仔细分析这个故事，会发现根据法官设定的条件得出的结论是所有的日子均无法满足，因为正如赌徒所推理的那般，没有一天能满足“意料之外”这个条件。然而这个结论自身可以改变当下的状况，使得“意料之外，或是惊喜”成为可能。这时我们该回到最初的情境，虽然赌徒理论上阐述论证了没有一天是符合要求的，但在此法官运用了“亚历山大的解决方案”，干脆爽快地“斩断”了赌徒的无限循环之“死结”。

举一个更简单的例子，也是罗素真正纠结的案例：数学中的集合是指将某些事物聚集在一起的一种数学架构。一个集合中可以包括椅子、书、作者、赌徒、数字、其他集合等任何事物。现在罗素构造了一个集合A:A由一切不属于自身元素的集合所组成。然后罗素问：A是否属于A呢？

让我们仔细讨论一下这个问题，首先答案只有两种：“是”或者“不是”。我们可以两种答案都尝试一下（然而数学中大部分问题并非如此简单）。那么假设答案为“是”，则集合A属于集合A，但是根据定义，A中的元素是一切不属于自身的元素，此时产生矛盾，所以“是”不是正确答案。

那么假设答案为“不是”，则集合A不属于集合A，然而根据定义，不属于自身的元素是集合A中的元素，此时又出现矛盾。这就和赌徒故事中的情节一样，我们拥有一些互相排斥的因素但又能互相推导。肯定回答必然推导出否定回答，进而返回肯定回答的假设，如此循环。

对于我们来说，这并不是什么大事，而对罗素来说，这个悖论威胁到了数学最基本的问题。数学建立在集合的概念之上，包含（即属于一个集合）的问题又是关键之关键。集合A的定义看似十分合理，“A是否属于A”的问题也十分合理，然而我们却无法对一个合理的问题做出一个合理的解释，数学可不就遇上大麻烦了吗？

罗素为此悖论伤透了脑筋，几乎耗尽了所有心血，还因此遭受婚姻家庭破裂不止一次。终于他得到了合理的答案，为此他发明了一种理论计算机的“等同物”，这是一种逻辑机器，每次能完成一次逻辑推导，但需要花费一定的时间，所以所有的推导并不是一瞬间就能完成的。我们探讨的集合A的问题经机器有序推导。罗素开启了他的理论计算机（并非真正的计算机，而是在大脑内进行的活动），逻辑条令也依此被“审视”。我们给出的答案“是”仅是一个节点，但程序会继续向前推进运行，经过一段时间后出现“不是”，程序继续运行，无限循环，答案则为“是”和“不是”交替出现。

但是答案绝不会是“是”和“否”同时出现。

神奇吧？罗素对此相当满意，排除了“是”和“否”同时出现的可能性后，数学计算量变小了不少。罗素在他朋友和老师怀特海的帮助下，用他提出的新的集合和逻辑的定义和理论重新改写了数学中的各项内容，并发表在1910~1913年间出版的《数学原理》一书中。值得一提的是，当时计算机的概念（不管是理论的还是其他角度的）并不为被大众理解。19世纪巴贝奇做出的努力（详见第四章）在当时也鲜为人知，而且罗素是否知道巴贝奇的工作也无从知晓。罗素做出的贡献意义重大、影响深远，不仅创造

了计算的逻辑理论体系，还将数学发展成了计算的一个分支。数学现在已成了计算的一部分。

罗素和怀特海并未对计算机做出详细的说明，而是把他们在这方面的想法作为集合理论中的一个数学条目。直至1936年，艾伦·图灵制造了第一台理论意义上的计算机“图灵机器”。

Alfred N. Whitehead and Bertrand Russell,Principia Mathematica, 3 vols., second edition （Cambridge: Cambridge University Press, 1925－1927）. （The first edition was published in 1910, 1912, and 1913.）

罗素悖论的首次提出见Bertrand Russell,Principles of Mathematics（Reprint, New York: W. W.. Norton &: Company, 1996）, 2nd ed., 79－81;罗素悖论是说谎者悖论的演变，见E. W. Beth,Foundations of Mathematics （Amsterdam: North Holland, 1959）, p. 485.

9. “Heuristic Problem Solving: The Next Advance in Operations Research”,Journal of the Operations Research Society of America 6, no. 1 （1958）, reprinted in Herbert Simon, Models of Bounded Rationality, vol.1, Economic Analysis and Public Policy （Cambridge,MA: MITPress, 1982）.

10. “A Mean Chess-Playing Computer Tears at the Meaning of Thought”,New York Times, February 19, 1996，该文中包括了加里的赛后感想，以及一些有名的思想家对“深蓝”计算机打败人类国际象棋冠军会产生何种影响的看法。

11. Daniel Bobrow,“Natural Language Input for a Computer Problem Solving System”, in Marvin Minsky,Semantic Information Processing, pp. 146－226.

12. Thomas Evans,“A Program for the Solution of Geometric－Analogy Intelligence Test Questions,”in Marvin Minsky, ed.,Semantic Information Processing （Cambridge, MA:MIT Press, 1968）, pp. 271－353.

13. DENDRAL相关描述见Robert Lindsay, Bruce Buchanan, Edward Feigenbaum, and Joshua Lederberg,Applications of Artificial Intelligence for Chemical Inference: The DENDRAL Project （New York: McGraw－Hill, 1980）。欲了解主导DENDRAL的主要机制介绍，可参读Patrick Winston,Artificial Intelligence（1984）, pp. 163－164, 195－197。

14. SHRDLU曾一度为人工智能领域卓越成绩的代表，相关研究介绍见Winograd的论文Understanding Natural Language （New York: Academic Press, 1972），简介见“A Procedural Model of Thought and Language”, in Roger Schank and Kenneth Colby, eds.,Computer Models of Thought and Language （San Francisco: W. H. Freeman, 1973）.

15. Haneef A. Fatmi and R.W Young,“A Definition of Intelligence,” Nature 228 （1970）: 97.

16. 艾伦·图灵向世人证明了可以通过非常简易的理论机器模拟出基础计算。1936年他制造了第一台理论计算机（首次提出见Alan M. Turing,“On Computable Numbers with an Application to the Entscheinungs Problem,”Proc. London Math. Soc. 42 [1936]: 230－265），并命名为“图灵机器”。图灵做出了许多突破性的贡献，对于计算机可谓最有发言权。图灵机器的出现代表了现代计算理论的建立，也由于其简易却功能强大的性质，一直作为计算机基本理论模型存在着。

图灵机器是智能基础简易化的典型案例，它有两个基本（理论）部分：一台磁带机和一个计算器。磁带机中包含一条无限长的带子供机器书写记录和读取，且记录的内容只有两个符号：0和1。计算其中包含一个程序，该程序由一串指令序列组成，指令内容仅有以下7种可能：

- 读带
- 将带子向左移动一个符号
- 将带子向右移动一个符号
- 在带子上记录0
- 在带子上记录1
- 跳至另一条指令
- 停止

图灵演示出这种极其简易的机器能计算其他任何机器可计算的内容，不管多复杂都可以。如果一个问题无法用图灵机器解决，那么用其他机器更不可能解答。图灵机器的地位偶尔会受到挑战，但长久以来仍无法被撼动。

同样，在这篇论文中，图灵指出了另一个预料之外的发现，即不可解问题。这些问题被完美定义，且看似解法独特，然而经由图灵机器计算后得出不可解——也就是其他机器也无法解决这个问题，但倒退回19世纪，人们坚信一个问题既然可以被定义就可以被解决。图灵则认为世上存在多少可解问题就会存在等量的不可解问题。

图灵和他的导师阿隆佐·邱奇教授继续坚持其主张，也就是后来的“邱奇——图灵论题断定”:如果一个问题无法通过图灵机器解决，同样也无法通过人类思维解答。对于该论题比较绝对的解读方式是：人类思考或知晓的事物，与机器可计算的事物间存在等价关系。而邱奇——图灵论题也可被看作维特根斯坦在《逻辑哲学论》中提出的基本论点的数学表达。其中最根本的思想在于人类大脑受自然规律制约，所以人脑的信息处理能力无法超越机器，所以我们才会遇到上述这种困境：可被定义的问题看似存在特殊的解答方式，却不知道这个问题根本没有答案。

最有趣的不可解问题莫过于“忙碌的海狸”问题，若要进行“忙碌的海狸”函数的运算，假定一个输入值n，从而可制作一台只能出0和1两种字符、有n个操作状态外加一个停机状态的图灵机器。找来一台这样的机器后，给它一条空白纸带（所有空格填满0），运行一段程序后它停机了，此时在纸带上留下的1最多的那台图灵机器则被称为“忙碌的海狸”。

图灵的崇拜者，数学家蒂博尔·拉多证明不存在任何一种算法（即任何一台图灵机器）能计算“忙碌的海狸”函数中全部的n个操作状态，因为图灵机器在计算n个操作状态时会陷入无限循环中。假设我们编写了专门的图灵机器以生成和模拟n个状态中的每一个状态，那么这些单个的模拟图灵机器也会在尝试再模拟的过程中再次陷入无限循环。“忙碌的海狸”中部分n值可被计算，但有趣的是，我们无法解答哪些n值可解，哪些不可解，这又是一个不可解问题。

“忙碌的海狸”是个“智能函数”，更确切地说，它需要不断增加的智能来计算不断增加的函数状态。随着n值的增加，“忙碌的海狸”函数计算过程也变得更加复杂。

若n=6，“忙碌的海狸”函数值为35，计算过程仅涉及加法，也就是说，图灵机器在6步之内可执行的最复杂的运算为加法。若n=7，“忙碌的海狸”函数值为22 961，计算过程涉及乘法。若n=8，“忙碌的海狸”函数值将接近10^{43}，计算过程则涉及指数运算，这种增长速率比摩尔定律阐述的速度还要快。可以想象当n的值为10的时候，涉及的运算需要多少次指数级的叠加，更不用说到n值为12的时候了。人类智能（从我们理解的数学运算复杂程度来看）将被n值为100的忙碌的海狸函数赶超，21世纪的计算机也只比人类好一些。

忙碌的海狸问题是个典型的不可运算函数大集合，详见Tibor Rado，“On Noncomputable Functions”，Bell System Technical Journal 41, no. 3（1962）: 877 - 884.

17. Raymond Kurzweil,The Age of Intelligent Machines（Cambridge, MA: MIT Press,1990）, pp. 132 - 133.

18. H. J. Berliner,“Backgammon Computer Program Beats World Champion,”Artificial Intelligenc14, no. 1 （1980）;Hans Berliner,“Computer Backgammon,”Scientific American, June1980.

19. 在第八章中的“富有创造力的机器”部分会详细讨论RKCP。

20. 有关音乐创作程序的讨论见第八章中的“富有创造力的机器”部分。

21. G. E. Hinton 的“How Neural Networks Learn from Experience,” Scientific American 1992年9月刊（144~151页）也提供了神经网络的详细介绍。

22. 麻省理工学院Productivity from Information Technology （PROFIT） Initiative的研究学者们研究了神经网络理解手写体的能力。

PROFIT Initiative是以麻省理工学院斯隆管理学院发展起来的，旨在研究个人和公众如何利用信息技术。

23. “Miros, Inc位于美国马萨诸塞州威尔斯利市，专注开发面部识别软件，其产品包括为计算机、网络和数据安全提供第一代面部识别方案的TrueFace PC;提供全套硬件/软件安全方案的TrueFace GateWatch，可通过摄像机自动识别人脸，允许或拒绝来访者进出大楼和房屋。”

24. 有关该研究的详细资料，参见Carver Mead,Analog VSU and Neural Systems（Reading, MA: Addison－Wesley, 1989）, 257－278,Carol Levin,“Here’s Looking at You,”PC Magazine （December 20, 1994） :31中着重介绍了突触。

25. SETI （Search for Extraterrestrial Intelligence） Institute致力于研究宇宙中存在的其他生命迹象，旨在寻找地球以外的智能体。该组织为非营利性科研组织，受政府机构、个体组织和个人资助，同时它也为一些项目提供资金。

26. 本书作者正在利用连续语音识别程序Voice Xpress plus将书写的部分内容输入电脑。详见第二章第9条注释。

27. 了解更多有关State Street Global Advisor购入大部分Advanced Investment Technology股权的信息，可参读Frank Byrt,“State Street Global Invests in Artificial Intelligence.” Dow Jones Newswires, October 29, 1997.AIT Vision互助基金使用的遗传算法系统介绍见S. Mahfoud and G. Mani,“Financial Forecasting Using Genetic Algorith Applied Artificial Intelligence s”m.10 （1996）: 543－565。AIT Vision互助基金建立于1996年年初，并一直公开其效益和业绩。在1996年整一年中，其基金资产净值上升27.2%，高于21.2%的罗素3000指数基准线。

要注意的是，高于基准线指数并不代表其公司的决策水平高人一筹，也有可能是遗传算法系统做出了比平均指标风险更大的投资决策。

28. 有许多关于演化计算和进化算法、遗传算法的在线资源，其中一项便是“The Hitchhikers Guide to Evolutionary Computation:A List of Frequently Asked Questions （FAQ）,”由Jorg Heitkotter and David Beasley编辑，其中包括了术语表、不同研究小组网页链接等全部相关资源。

遗传算法的本地资源，可参读John Holland’s article“Genetic Algorithms,”ScientificAmerican 267, no. 1 （1992）: 66－72.第一章第22条注释中提到20世纪70年代，作者和他的同事在密歇根大学开发了遗传算法。

更多利用遗传算法技术管理沃尔沃汽车的发展与制作的信息，参读Srikumar S. Rao,“Evolution at Warp Speed”,Forbes 1~1, no. 1 （January 12,1998）: 82－83。

其他可参见第一章第22条注释。

29. 见Vadim Gerasimov,“Information Processing in the Human Body”.

30. 见Vadim Gerasimov,“Information Processing in the Human Body”.

31. 我在1982年创建了Kurzweil Applied Intelligence （Kurzweil AI）公司，现为全球语音语言技术和相关应用产品开发领导者Lernout &:Hauspie Speech Products （L&:H）公司的子公司。

32. 见Vadim Gerasimov,Information Processing in the Human body.

33. 我在1982年创建了Kurzweil Applied Intelligence （Kurzweil AI）公司，现为全球语音语言技术和相关应用产品开发领导者Lernout &:Hauspie Speech Products （L&:H）公司的子公司。

第五章
超级智能：既是天才，又是白痴？



信息汇总

迄今为止，我们的工作成就如何呢？看吧，很多看似难以解决的问题，几个简单的公式就搞定了。递归公式擅长分析含有大量组合的问题，从棋子的走法到数学定理的证明，无所不包。神经网络及其相关的自组织模式可以模拟人脑的模式识别能力，在人类语言、字母形状、可视对象、人脸、指纹以及地形图像等领域的识别效果都很棒。进化算法能有效解决复杂问题，从金融投资的决策制定到工业生产过程的优化（这类问题中包含的变量太多，精确的解析都无法解决），都不在话下。我以为，计算机“智能”系统研发人员为机器编写解决问题的程序时，对这些问题的复杂程度早已了如指掌。然而事实却通常相反，运用这些自组织模式的电脑总是向我们这些制造者传授方法，我们却什么都教不了它们。

当然，系统研发过程中也会涉及一些工程学知识。我们需要选择正确的方法和变量，设计最优的拓扑结构及构造，设定恰当的数值等等。比如在进化算法中，系统设计者需要设定模拟有机体的数量、每条染色体的内容、模拟环境及存活机制的性质、可进入下一代有机体

的数量、进化的次数以及其他重要参数。人类编程师在做出上述决策时有自己的演化方法，即试错法。因此，不久的将来，人类设计师终将被自己设计的智能机器超越。

然而，似乎有什么漏掉了。我们一直在讨论的问题过于集中，解决方案涵盖的范围过于狭窄，换言之，这些问题和解决方法太过成人化了。所谓“成人化”，即我们会带着明确的目的探讨问题，如基金的投资、营销计划的选择、法律策略的规划、棋步的设计等等。与之相反的便是“儿童化”。我们接触的世界包罗万象、无奇不有，我们在探索自己与这个世界的联系，探索每一个事物及每一种概念与这个世界的联系。我们一直在探索“环境”。

马文·明斯基曾指出：“‘深蓝’计算机也许能够赢得棋局，但它却不懂得避雨。”作为一台机器，或许“深蓝”计算机没有避雨的必要，但它是否考虑过这个问题呢？我们假设“深蓝”计算机做了以下几点深入思考：

> 我是一台机器，塑料机身包裹着电子零部件，如果在外面淋了雨，我的电子零件就有可能短路。如果没有人类修理，我就不能下棋了，那该多丢人！
>
> 昨天我参加的那场象棋比赛非比寻常，那可标志着常规棋赛中人类冠军首次败给了一台机器。此事意义重大，因为人类中总有那么一部分认为只有集智慧和创造力于一身的人类才能玩转象棋。但我想这次比赛兴许能迫使人类更尊重我们这些机器。不过他们也很不爽，马上开始借诋毁棋赛挽回自己的面子。
>
> 跟我过招的人类棋手名叫加里·卡斯帕罗夫，他召开了新闻发布会，就我俩的对决向一些被人类称作记者的人做了说明，这群人会利用一种名为媒体的交流渠道将加里的观点告知其他人。在那场发布会上，加里声称我的那些人类设计师在比赛中场休息时修改了我的程序，他认为这样做不公平，主办方不应该纵容这

种做法。而其他人则认为加里只是在为自己的失利辩解，企图混淆视听，让人们误以为他并没有真正输掉比赛。

卡斯帕罗夫先生或许还未意识到我们机器的下棋能力正呈指数级速度增长，所以他注定会失败。未来的日子里，对他而言，吃饭睡觉这些事可以继续，但在棋类比赛领域，他会一蹶不振的，因为像我这样的智能机器会越来越多。

现在，我得想想我把伞放哪儿了……

当然，“深蓝”计算机是不可能进行上述思考的。下雨带伞、举行新闻发布会等问题会引发一连串其他问题，涉及更复杂的情境，这些都不是“深蓝”计算机可以驾驭的。人类在不同概念间切换时，可以迅速搜寻到所有可用的知识。图灵在围绕日常对话设计图灵测试时就已经意识到这点了。像“深蓝”计算机这样的天才白痴只能独通一行，无法适应更复杂丰富的环境，当然也就无法驾驭日常对话中的各类连接。

虽然简单算法功能强大、极具诱惑，但仍缺乏一些东西，也就是“知识”。

环境与知识

对真理的探索难易参半：难，因为人们无法全盘通晓；易，因为人们不可能一无所知。每一个人都会为人类对自然现象的认知添砖加瓦，这些认知汇聚起来便是一座高楼大厦了。

——亚里士多德

常识并不简单，来之不易，是长期实践中总结出来的庞大知识体系，包含大量生活中学到的规则和异常现象、特性及趋势、平衡与制约等。

——马文·明斯基

如果知识贫乏便会陷于险境，那能脱离险境的渊博之士又身在何处呢？

——托马斯·亨利·赫胥黎

先天内置型知识

一个实体执行简易模式的方法总是出乎意料——全面的递归搜索、大量的并行模式识别、迅速的迭代进化，但没有知识，一切都是空谈。即使是最直截了当地执行上述三种模式，也需要在开始时有知识的引导。利用递归法的下棋程序中包括棋局规则的知识；利用神经网络的模式识别系统在正式学习范例之前，至少还需要一份大纲作为学习的开端；进化算法的改进也需要一个起点。

这几种简易模式功能强大，但开始时都需要知识来播种才能生根发芽、枝繁叶茂。算法的选择、组成部分的形状与拓扑结构、关键数值等都属于某一层次的知识。即使还未正确建立连接和反馈回路，神经网络的学习也并不会因此停滞。

这部分知识是我们与生俱来的，人脑记录着我们成长中的经历体验，但这不等于它在生命之初是块白板。事实上，它由负责不同功能的特定区域综合而成：

- 高度并行的早期视觉回路擅于识别视觉变化；

• 大脑皮层中的视觉神经细胞群可识别边、直线、曲线、形状、熟悉的物体与面孔；

• 大脑皮层中的听觉回路可听辨不同频率组成的声波；

• 大脑内的海马状突起能储存感官体验相关的记忆；

• 扁桃体包含的回路可将恐惧转化成一系列警觉信号，触发大脑的特定区域。

大脑的内部连接错综复杂，不同区域分管处理不同类型的信息，这也正是人脑能自如应对复杂多样的环境的奥妙所在。现代人工智能专家明斯基和西蒙·派珀特是这样描述人脑的："它由大量小型分散系统组成，根据胚胎学排列组合成一个复杂的体系。它有一部分受一系列后天增加的符号系统控制（仅是部分控制）。"他们还认为："由于自身的特性，这些亚符号系统完成了大部分工作，并与其他部分隔离，以防其他部分了解其工作原理。这就能解释为什么人们能下意识地完成许多工作，却道不出其中的原理。"

获得型知识

将当下的深刻见解铭记于心以应对未来的挑战，这是明智的做法，但反复纠结每一个问题并无意义。对于人脑来说尤其如此，因为人脑的计算回路太缓慢了。虽然在重新思考之前的深刻见解时，电脑比人脑技高一筹，但在大生态环境下，我们的电子竞争者们仍需要审慎、明智、平衡地利用其存储和计算功能。

早在20世纪60年代中期，人们就尝试给机器灌输有关世界的各种知识，直至70年代，这项工作已然成为人工智能研究的重点。灌输知识的过程中需要人类"知识工程师"和医生、律师等各领域专家的共同协作。知识工程师会采访各个专业的专家，确保自己对这方面的知

识理解无偏差，之后手动将这些知识进行编码，与合适的电脑语言匹配起来。就拿糖尿病来说，知识库中可以找到的相关内容包括：胰岛素是血液的一部分；胰岛素由胰脏分泌；胰岛素可从外部注射；胰岛素偏低会导致血液中血糖含量升高；血糖长期保持较高水平会对视网膜造成不良影响……我们在一个系统中编入成千上万条类似的知识链接，并结合递归式搜索引擎建立各链接间的关联，那么这个系统便能独立进行判断和运作了。

专家系统最成功和最典型的例子便是20世纪70年代的MYCIN系统，该系统可协助诊断有关脑膜炎的复杂病例。《美国医学会杂志》上发表了一篇极具历史意义的研究报告，其中提到MYCIN系统的诊断医疗手段与人类医生不相上下，有时甚至能超越人类医生。[注]MYCIN系统中采用了一些创新手段，最典型的便是“模糊逻辑”（fuzzy logic）的运用，这一逻辑能帮助系统在证据和规则不明晰的情况下进行推理诊断，涉及的MYCIN系统运行规则如下：

> MYCIN第280条规则：如果同时满足（ⅰ）感染的病为脑膜炎，（ⅱ）真菌型感染，（ⅲ）培养皿中的着色剂上未发现有机体，（ⅳ）患者非易感染病患，（ⅴ）曾去过球孢子虫病疫区，（ⅵ）患者为黑人、亚洲人或印第安人，（ⅶ）检验中隐球菌抗原呈阴性，则可判定该有机体的感染有50%的概率是由隐球菌引起的。

MYCIN专家系统和其他科研系统的成功迅速催生了一项知识——工程产业，该产业的市场价值从1980年的区区400万美元一路飙升至今天的几十亿美元。[注]

但这一研究方法明显存在许多困难。其中一个便是庞大的知识库转入电脑系统时遭遇瓶颈，因为这些信息必须依靠人工一字一句手动输入系统，并逐一建立连接关系。即使将学科范围缩至最小，其涉及

的知识范围依旧浩如烟海，并且专家们在关于这些知识如何做决策的问题上也道不出个所以然来。这一点我们在上一章已讨论过，它与人脑内知识的分散特性有关。

另一个问题便是这一计算机系统的脆弱性。整个知识库太复杂了，那些知识工程师不可能对知识中的异常状况做出预测。正如明斯基所言："只要是鸟就会飞，除非它是企鹅或鸵鸟，或是它不幸死了，或是它翅膀受伤了，或是被关在了笼子里，或是它的双脚陷在了水泥里，或是可怕的经历让它对飞行产生了心理恐惧……"

我们需要将知识——习得的过程自动化，才能在机器中建立灵活多变的智能体系。研究学习的主要目的在于将各个自组织方法——递归法、神经网络、进化算法有效且稳定地组合起来，从而让系统模拟并理解人类语言和知识。于是，机器便可以自行投资、阅读和学习。最终，这些系统也会像人类一样，在问题超出自己的专业范围时进行杜撰，冒充行家。

用语言表达知识

没有一种知识可以用只言片语概括，也没有一种知识是完全无法言喻的。

——西蒙·派珀特

筌者所以在鱼，得鱼而忘筌；蹄者所以在兔，得兔而忘蹄；言者所以在意，得意而忘言。吾安得夫忘言之人而与之言哉！

——庄子

语言是我们分享知识的主要途径。如同其他人类技能一样，语言通常被视为最能将人类与其他物种区别开来的特征。虽然我们无法透彻了解人脑学习知识的原理（这一难题有望在21世纪初取得突破），但我们对语言的结构与规则已有足够了解，这也为我们进一步研究知识的掌握及其背后的思维过程提供了天然的实验资料库。在研究语言的过程中，我们发现语言本身就是个复杂微妙的现象，其独特性丝毫不比它所传递的知识逊色。

我们发现，语言在听觉形式和书写形式上都有许多层次，而每一层次都存在不少含混不明的情况，因此，无论是人类还是机器的语言理解系统，都需要具备每一层次的内置知识。比如，我们想让机器智能地回答人类话语，就需要知道（尽管未必是有意地）语音结构、声带的发音原理、语言和方言的声调、措辞规则和讨论的主题等相关知识。

分析每一层次的内容便能找出有用的条件，以缩小搜索范围，找到正确的答案。比如，语言最基本的单位“音素”的组合并非任意的（试着读出ptkee这个音），只有按照特定的顺序组合才能生成有意义的单词。虽然不同语言使用的音素非常相似（尽管并不完全相同），但语境的构成因素却是千差万别的，例如英语中可能有10 000多个音节，而日语中只有120个。

语言的结构和语义是更高的层次，这两者进一步限定了词语的排列顺序。目前语言领域研究最多的是句法学，它决定了词语在句子中的排序和成分。一方面，电脑句法分析系统能解析出人类无法理解的复杂句子结构，明斯基列举了这样一句话：“This is the cheese that the rat that the dog chased bit ate.”这个句子的结构难倒了人类，却难不倒计算机分析系统。当时还在麻省理工学院的肯·丘奇也举出了另一个复杂句，电脑系统竟列出了200万种可行的句法分析。(注)另一方面，1963年美国哈佛大学教授久野进开发的第一代计算

机句法分析系统无法解析简单句，如“Time flies like an arrow”（光阴似箭），电脑显示无法确定句子的意思，因为可能有以下几种意思：

1.时光如弓箭飞过一般过得很快。

2.这是一句祈使句，“time”作为动词“计时”，“fly”作为名词“苍蝇”，要求我们像计算弓箭飞行速度一样计算苍蝇飞行的时间，此时完整句应为：“Time flies like an arrow would.”

3.这是一句祈使句，“time”作为动词“计时”，“fly”作为名词“苍蝇”，要求我们计算长得像弓箭一样的苍蝇的飞行速度，此时完整句应为：“Time flies that are like an arrow.”

4.或者有一种苍蝇的品种叫“time flies”，它们喜欢弓箭，所以正确的句子是：“Time-flies like（此处作动词，喜欢）an arrow.”注

显然，此处需要我们添加一些知识消除模糊意义。添加“苍蝇不可能与弓箭长得相似”，可排除第三条解析；“没有time-fly这种生物”，排除第四条解析；“苍蝇没有喜欢弓箭的癖好（这点也可以排除第四条解析），并且弓箭无法对事件进行计时（排除第二条解析）”，便可排除其他义项，只留下正确的第一条解析。

在语言领域中，我们发现人类的学习过程与智能机器的发展过程恰好相反。儿童学习语言从听辨开始，随后学会说话，几年以后才掌握写作能力。而计算机的进化顺序则与其相反，它先从书面语言着手学习，随后进行书面语的理解，最后运用正确的句法说话，直至近几年才刚刚能够理解人类正常语速下的言语。人们对于这一点常常有误解，例如电影《星球大战》中的机器人R2－D2能理解好多种人类语

言，但它自己却不会说话，所以人们通常会误以为说话比理解话语更困难。

我享受某些东西的学习过程，但学习知识实在索然无味，尤其是考试前整日整夜地学习，我不确定我还能记得多少。

人类的智能有一个弱点。电脑之间可以随时随地快速共享已有的知识，但人类无法进行这种信息的直接共享，我们所拥有的除了耗时的人际交流手段，就是教与学的方法。

但你不是说电脑神经网络的学习方法和人类是一样的吗？

你是说速度一样慢吗？

没错，它们也需要数千次熟悉各种模式，这和人类并无区别啊。

你说对了，这就是神经网络的特点。电脑神经网络就是模拟人脑的神经网络建立起来的，至少是个简化版本。但是一旦电脑神经网络完成了漫长痛苦的模式学习后，它的突触连接模式便可迅速将大量知识下载到另外一台甚至另外数百万台机器中去。这些机器可以随时随地共享已有的知识，所以只需有一台机器学习便已足够。但人类做不到这一点，所以我说一旦电脑的智能水平与人类并驾齐驱，它们会即刻反超人类。

所以将来技术可以方便分类下载更多的知识，对吧？我的意思是，我享受学习，但这得看是哪个教授教我，不然学习也会变得乏味无聊。

电子世界与人类神经世界之间的交流技术已初见雏形，我们很快就能通过神经网络向电脑传输大量知识数据。但这并不意味着我们能直接下载知识，至少还无法将其直接下载并输入人脑神经回路中。前文中我们已经说过，人类的学习过程由大脑的不同区域负责，知识涉

及数百万个神经连接，知识结构也不固定存在于某一区域。除了那种耗时久的传统方式，大自然并未给我们提供更便捷的路径来调整和适应那些连接。虽然人类能够在大脑神经连接之间建立特定的知识传输路径，也正致力于相关研究，但我仍对此项技术持保守态度，想要与数百万个神经连接直接交流并实现知识的快速下载根本不现实。

我觉得还是老老实实读书比较实在。教我的教授们有些看上去似乎无所不知，十分厉害。

正如我说过的，人类在遇到超出专业范围的问题时就会杜撰造假。但是，到21世纪中叶有望出现直接将知识下载到大脑中的方法。

听着很有意思。

知识下载将会是神经植入技术的优势之一。通过植入的方式，我们对知识的掌握会更加牢固，记忆力也会增强。不同于本能和天性，我们不会忘记在电子突触上留出快速下载的端口，到时候下载知识到我们的大脑中也就很便捷迅速了。当然，如果我们将大脑向计算机传递媒介完全敞开，下载知识就会愈加便捷。

所以，我可以买到含有法语文学知识的存储植入芯片咯。

没错，或者你也可以在头脑中点击法语文学的链接，直接从网上下载知识到大脑中。

这似乎与文学创作目的相悖，不是吗？因为这些作品需要仔细品读才行。

我倒认为大量集中的知识会增进对文学作品或其他艺术作品的赏析能力。毕竟艺术的品鉴也需要背景知识的支撑，不然我们便无法理解其中的词汇和隐喻。

总之，这并不会影响阅读，只会加快阅读速度。到21世纪下半叶，几秒钟之内你就能读完一本书。

几秒连翻页的时间都不够。

嘿，老兄，那时的书可是……

虚拟形式的，我懂了。

---

1. Victor L. Yu, Lawrence M. Fagan, S. M. Wraith, William Clancey, A. Carlisle Scott, John Hannigan, Robert Blum, Bruce Buchanan, and Stanley Cohen,“Antimicrobial Selection by Computer: A Blinded Evaluation by Infectious Disease Experts,”Journal of the American Medical Association242, no. 12 （979）: 1279－1282.

2. 如要了解专家系统的发展与用途，见Edward Feigenbaum, Pamela McCorduck, and Penny Nii,The Rise of the Expert Company（Reading, MA: Addison-Wesley, 1983）.

3. William Martin, Kenneth Church, and Ramesh Pati!,“Preliminary Analysis of a Breadth-First Parsing Algorithm: Theoretical and Experiential Results”. MIT laboratory for Computer Science, Cambridge MA, 1981.此文章中引用了句法例句：

   “It was the number of products of products of products of products of products of products of products of products?”对于这句话有1 430种正确的句法解读。

   还有如下一句例句：

   “What number of products of products of products of products of products of products of products of products was the number of products of products of products of products of products of products of products of products?”这句话则有1 430×1 430 = 2 044 900种解读方式。

4. 计算语言学的相关理论内容见Mary D. Harris,Introduction to Natural Language Processing （Reston, VA: Reston Publishing Co., 1985）.

第二部分　奇点临近



第六章
茶杯中的宇宙：量子计算引爆技术未来



智能的硬件

> 双手能创造的东西是有限的，大脑能创造的东西却是无限的。
>
> ——卡尔·辛菲尔德给儿子杰瑞的忠告

让我们回顾一下建造一台智能机器都需要些什么吧。所需的资源之一是一套正确的公式。在第四章中我们已经检测了三个重要公式，此外，还有很多其他正在使用的公式，若想更全面地了解大脑，无疑还需要更多公式。但这些公式似乎都是在这三个基本主题上演变而来的，是递归搜索、元素的自组织网络、各种竞争方案经过大浪淘沙沉淀下来的进化成果。

所需的第二种资源是知识。有些知识可以视为过程当中的种子，会结出有意义的果实。如果学习环境中有正确的神经网络或进化算法，那么剩下的知识可以通过适应的方法自动学习。

所需的第三种资源是计算本身，就这一点而言，人类大脑从某些方面来看简直无所不能，而在某些方面又有很明显的弱点。大脑的能力可以通过大范围并行计算体现出来，计算机也能通过这种方法受益。大脑的弱点在于其计算媒介的速度慢得出奇，但计算机却没有这样的困扰。这一原因将最终导致以DNA为基础的进化被淘汰出局。以DNA为基础的进化擅长修护并扩展自己的设计，却无法将整个设计推倒重来。以DNA为基础的进化产生的有机物受困于极其单调而又缓慢的神经电路。

但加速回报定律告诉我们，进化不会在一个死胡同里受困太久。确实如此，进化已经找到解决神经电路计算受限的办法了。它创造了一种有机物，可以发明一种比碳基神经元快100万倍的计算技术（还在不停地加速）。最终，极为缓慢的哺乳类神经电路引导的计算将被传送给功能更多、速度更快的电子（光子）生物。

那时又会发生什么呢？让我们将加速回报定律运用到计算当中，看看会发生什么。

实现人类大脑的硬件能力

在第一章的“1900~1998年计算的指数级增长图”中，我们看到呈指数级增长的曲线弯度正逐渐上升。计算机速度（用1 000美元可以购买的“每秒计算速度”的数量来衡量）在1910~1950年间每三年就翻一番，在1950~1966年间每两年就翻一番，现在每一年就翻一番。这表明以指数级增长的速度实现指数级增长是有可能的。[注]

然而，这一加速中的明显加速可能是由加速回报定律的两个部分共同作用的结果，在过去40年中，这一点已经通过摩尔定律得到了体现——集成电路上的晶体管尺寸越来越小。随着晶体管芯片尺寸变

小，通过晶体管的电子流要走的路径也缩短了，晶体管的转换速度也因此加快。所以，速度呈指数级提高还只是计算机进步的第一阶段。晶体管芯片尺寸缩小后，还能使芯片制造商将大量晶体管放入集成电路当中。所以，第二个阶段就是计算设备的密度也呈指数级增长。

在计算机时代的最初几年里，全面提高计算机整体计算能力的主要是第一个阶段——电路速度不断加快。但到了20世纪90年代，先进的微处理器开始采用一种叫作“流水线”的并行处理形式，该形式可以同时进行多重计算（有些20世纪70年代的大型机器也采用这一技术）。因此，现在以每秒来测量的计算机处理器技术也反映了第二个阶段：运用并行处理法可以使计算的密度更大。

由于人们想更加完美地利用改善后的计算密度，现在处理器的速度每12个月就能有效提高一倍。今天，想搭建一个以硬件为基础的神经网络是完全可行的，因为神经网络处理器相对简单，而且能够高度并行。可以为每个神经元创造一个处理器，最终，神经元之间的每个连接便拥有了一个处理器。因此，摩尔定律让我们每两年就能将处理器数量和速度翻一番，这就意味着神经元间的连接数量每秒钟就会翻两番。

电脑提速增幅明显，得益于加速回报定律的两个阶段带来的计算能力的提高。到2020年摩尔定律失效后，超越集成电路的新的电路系统形式将延续指数级增长的两个阶段。但是普通的指数级增长——它的两个阶段，都极具戏剧性。

人类大脑当中约有1 000亿个神经元，每个神经元及其周边的细胞之间约有1 000个连接，总共约有100万亿个连接，所有连接可以进行同步计算。这是一种相当强大的并行处理能力，也是发掘人类思考力量的关键所在。但是人脑还有一个致命的弱点，那就是神经电路的速度极其缓慢，每秒只能完成200次计算。对解决以并行处理为基础的问

题，比如识别以脑细胞网为基础的图像，人类大脑能处理得非常出色，但对于那些需要大量连续思考的问题，人脑就略显逊色了。

100万亿个连接，每个连接每秒能计算200次，这样总计每秒可以计算2×10^{16}次。这属于比较保守的高额估计，其他估计大约要低1~3个量值。那我们什么时候才能在个人电脑中见识到人脑的计算速度呢？

答案取决于人类试图建造什么类型的计算机，能在最短时间内实现这一愿景的便是大型并行神经网络计算机。早在1997年，仅仅运用普通并行处理器的神经计算机芯片（价值2 000美元）每秒钟就可以完成大约20亿次连接计算了。由于神经网络竞争受益于计算能力加速的两个阶段，这种能力将会每12个月就翻一番，因此到2020年，计算机的计算能力将会提高23倍，每秒能完成的神经连接计算速度将高达2×10^{16}次，这一速度与人脑相当。

如果用同样的方法来分析一台“普通的”个人计算机，那么到2025年我们才能使价值1 000美元的设备具备同人脑一样的计算能力。[注]因为传统个人电脑在设计时，其通用的计算类型就比相对简单、高度重复的神经连接计算类型耗资高得多。但我认为2020年这个时间点的预估更精确一些，因为到那时我们的计算机所做的大部分计算都将是神经连接的类型了。

人脑的存储容量大约相当于100万亿个突触强度（指神经元间连接上的神经递质浓度），大约有1 000万亿比特。1998年，一根10亿比特（128兆字节[注]）成本的内存条大约为200美元。存储电路的容量大约每18个月翻一番。因此，到2023年，容量为1 000万亿比特的内存条成本将为1 000美元。[注]但是，同样的硅元件运行速度要比人脑快10亿倍。现在，降低内存容量以提高速度可在技术上实现，因此无须到2023年，我们就可以用1 000美元的成本得到容量相当于人脑的内存。

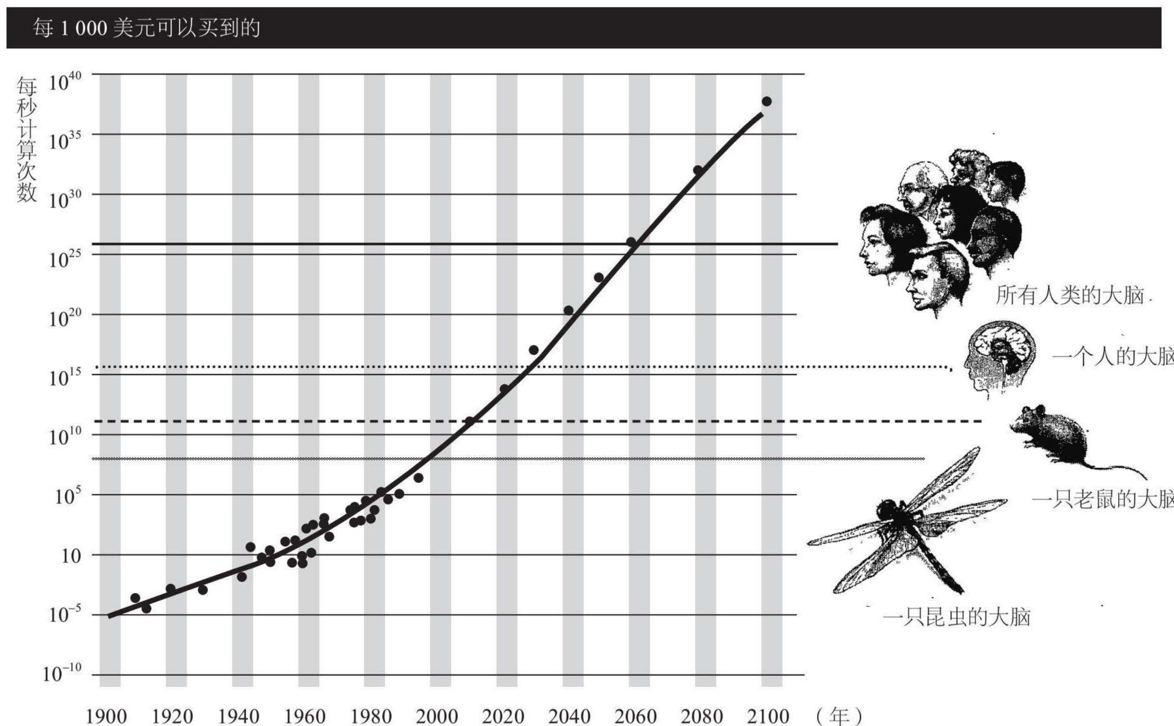


图6－1 1900~2100年信息技术的指数级增长

鉴于此，预估价值1 000美元的个人计算机的速度及容量在2020年左右就可以与人脑媲美是合理的，对于神经元连接计算尤其如此，尽管其当下的速度和容量尚逊色于大部分人脑计算活动。超级计算机的速度比个人计算机快1 000~10 000倍。在本书撰写之际，IBM正以“深蓝”计算机的设计为基础制造一台超级计算机，这位以硅元素为基础的象棋冠军能够进行每秒10次浮点运算(注)（即每秒进行10万亿次计算），人脑只不过是其运算速度的2 000倍。日本NEC电气集团希望以每秒32次浮点运算的计算机设计打败IBM。随后IBM希望在2004年制造每秒能进行100次浮点运算的计算机与日本NEC电气集团抗衡（顺便说一句，这与摩尔定律的预测吻合）。到2010年左右，超级计算机每秒的运算能力将与人脑一样，达到20万亿次，能够比个人计算机提前10年实现这一目标。(注)

在另一种途径中，一些项目或计划，比如“太阳微系统公司”发起的吉尼计划，已经发起在互联网上收集那些还未使用的计算能力的活动。要注意，在任一特定时刻，互联网上的绝大多数计算机都处于未使用状态。就连那些正在使用的计算机也没有被最大限度地加以利用（比方说，录入文本占用的笔记本电脑的计算内存还不到1%）。在各种收集互联网计算能力的建议下，合作网站将安装一些特殊的软件，以便利用网络计算机创造一台大型虚拟并行计算机。每位用户仍可以优先使用自己的电脑，但在后台，互联网上数百万台计算机当中的绝大部分都会连接到一台或多台超级计算机上。如今，所有联网并处于工作状态的计算机，其计算能力总和已经超过人脑，所以，我们至少已经实现了一种硬件形式的人工智能。随着加速回报定律的延续，人工智能的应用会越来越普遍，无所不在。

价值1 000美元的个人计算机在2020年获得了相当于人脑的能力以后，人类思维机器的计算性价比将会提高，每12个月就会翻一番。这表明计算能力每10年就翻10番，也就是说每10年增长1 000倍。因此，到2030年，你的个人计算机将能模拟大脑的功能，相当于一个小村子里所有人的脑力，到2048年，将相当于全美国人口的脑力和，到2060年将相当于一万亿人的脑力之和。[注]如果地球上的人口数量大约是100亿，那么到2099年，一台价值1美分的计算机大约要比地球上所有人的计算能力强大10亿倍。[注]

当然，我的估算可能有一两年的误差，但21世纪的计算机肯定会具备强大的计算能力和内存。

21世纪的计算底物

我说过，计算不断延续的指数级增长在加速回报定律中得到了体现，该定律认为，任何一种朝更高级秩序发展的过程——尤其是进

化，都将随着时间的流逝呈指数级加速。进化过程的急速推进（比如计算机技术进步）所需的两种资源——自身秩序不断加强以及进化发生的环境中的混沌，都是没有限制的。

虽然我们可以预期技术发展全面加速，但也能够预见到这一发展的实际表现会呈现出某种不规则性。毕竟，技术发展的表现要依个人创新、营业状况、投资形式及投资偏好等很多因素而定。进化过程的当代理论——比如间断平衡理论（Punctuated Equilibrium theories）注假定进化是通过周期性跳跃（或相对稳定的时期之后出现间断状况，循环往复）发生作用的，因此，计算机进步的可预测性问题很是令人瞩目。

到2020年，作用于集成电路的摩尔定律将会失效，那在接下来的几十年中适用于计算的加速回报定律又将怎样体现其作用呢？从近期来看，摩尔定律将继续发挥作用，每个芯片上集成的元件几何体更小，上面的晶体管数量更多，速度也更快。但是，由于电路尺寸越来越小，已经接近原子的大小，一些不良的量子效应（比如电子隧道效应）会导致一些不可靠的结果。然而，个人计算机中的摩尔标准方法论将非常接近人类的处理功能，超级计算机则会超越人类。

下一个前沿是三维空间。很多风险投资企业（大部分在加利福尼亚）正争相开发芯片，这些芯片具有几十层乃至上千层电路。这些企业给自己起了Cubic Memory、Dense-Pac以及Staktek这一类名字，并且已经着手推出电路的功能型三维“立方体”。虽然在价格上，这些三维芯片没有平板芯片有竞争力，但是当二维空间用完耗尽之后，三维芯片便成了当仁不让的选择。注

用光速计算

除此之外，研究实验室里开发的奇妙计算技术可谓层出不穷，其中许多技术已经显示出了良好的效果。光学计算使用光子流（光的粒子）而不是电子。激光可以产生数十亿束连续的光子流，每一束光子流都可以独立完成一系列计算。每一束光子流上的计算都是由特殊的光学元素并行完成的，比如透镜、反射镜以及衍射光栅。有些公司已经将光学计算运用到指纹识别技术当中，比如Quanta－Image、Photonics以及Mytec Technologies。洛克希德公司已经将光学计算技术运用到乳腺恶性病变的自动识别当中。(注)

光学计算机的优势就是可以对潜在的数万亿同步计算进行大规模并行计算，其劣势是无法对其进行编程，只能在光学计算元素的给定程序上进行一系列固定的计算。但对于识别模式这种重量级的问题，光学计算机可以将大规模并行计算（人脑也具有这一特性）与极高的速度结合在一起（人脑缺乏这一特性）。

用生命机制计算

一个名为“分子计算”的新研究领域已异军突起，该领域利用DNA分子自身作为实际的计算设备。DNA是生物体自带的纳米工程计算机，并且非常适合用来解决组合型问题。毕竟，组合属性就是遗传学的本质所在。当南加利福尼亚大学的数学家伦纳德·阿德曼用一只满是DNA分子的试管解决著名的“旅行推销员”问题时，才真正将DNA运用到实际的计算程序当中。在这个经典难题当中，我们试图为这个想象中的旅行者在各个城市中找到一条最优路线，保证他不会重复游览同一座城市。只有少数几个直飞城市是靠路线连接在一起的，所以找到正确的路线并非易事。这是个理想化的递归算法问题，如果城市的数量太多，就连运算非常快的递归搜索也要很久才能完成。

阿德曼教授和其他分子计算领域的科学家发现了一套酶反应，该反应符合解决各种计算问题所需的逻辑与算术操作规程。尽管DNA分子操作会偶尔出错，但正在工作的DNA链的数量非常庞大，所以从统计学上讲，这些分子的错误也无关紧要。因此，除了DNA计算和复制过程中固有的错误率之外，如果经过合理设计，DNA计算机还是非常可靠的。注

随后，DNA计算机得到应用，用来解决一系列难以解决的组合问题。DNA计算机比光学计算机更灵活，但将多个元素组合装配在一起，运用大规模并行计算搜索的技术还是备受限制的。

要想使DNA尚未开发出来的计算能力得到应用，还有一种更加强大的方法，下文中的量子计算部分我将提及这一想法。

如何用DNA试管解决旅行推销员的难题

DNA的优越性能之一就是能够自我复制并对自身包含的信息进行复制。为了解决旅行推销员的难题，阿德曼教授归纳出以下几个步骤：

• 为每一个要去的城市都创建一条小DNA链。

• 通过一个名为PCR（聚合酶链反应）的过程将所有DNA链（每个城市一条）复制数万亿次。

• 接下来，将DNA（每个城市一个）放入试管当中。这一步利用DNA的亲和力将所有DNA链连接起来。较长的链条会自动集合在一起。每一条这样的长链都代表多个城市之间旅行的可能路线。小一点的链条代表每个城市都以随机形式与另一个城市连在一起，所以无法确定DNA链条中的哪一条代表着我们即将得到的连接这些城市的那个正确路线。然而，链条的数量非常庞大，所以可以确定至少会形成一条（或许是数百万条）作为那个正确答案。

下一步使用特殊设计的酶删去代表错误答案的数万亿链条，只留下代表正确答案的链条：

• 用名为“原始物”的分子摧毁那些不是以起始城市为开头的链条，以及那些不是以目的城市为末尾的链条，再（用PCR）复制剩下的那些链条。

• 用PCR删去代表旅行路径数量大于城市总数的DNA链条。

• 用PCR删去所有不包括第一个城市的链条。然后对每一个不包括某一城市的链条做重复处理。

• 现在，剩下的每一个链条都代表正确答案。（用PCR）将这些链条复制数万亿份。

• 运用一种名为“电泳”的技术读取这些正确链条（作为一个整体来读取）的DNA序列。读取结果看上去像一条独特的线，这一结果也指明了题目中的“推销员”应该走的正确线路。

晶体中的大脑

还有一种方法可以利用第三维度，就是直接在三维空间里构建一台相当于晶体的计算机，计算元件的大小相当于晶格内的分子大小。

斯坦福大学教授兰伯特斯·海塞林克曾描述过这样一个系统，其中的数据储存在一个晶体当中作为全息图——一种光波干涉的模式。注利用这种三维储存法，存储1比特的数据仅需100万个原子，因此每立方厘米都可以拥有一万亿比特的储存量。还有一些研究项目则希望利用晶体的常规分子结构，将其作为真正的计算元件。

纳米碳管：巴基球的变种

1996年，美国莱斯大学的理查德·斯莫利和罗伯特·柯尔以及萨塞克斯大学的哈罗德·克罗托三位教授共同获得诺贝尔化学奖，这是对他们1985年发现的由大量碳原子形成的足球状分子的表彰。由于这些分子都呈六边形及五边形，就像里查德·巴克明斯特·富勒的建筑设计一样，因此被称为“巴基球”。这些不同寻常的分子是由熔炉的热烟气自然形成的，强度极高——是钢的100倍，这是它们与富勒的建筑创新共有的特征。(注)

最近，日本NEC电气集团的饭岛澄男博士表明，除了球形的巴基球外，碳弧灯产生的烟雾也含有细长的碳分子，看上去像是长长的管状物。这种分子叫作纳米管，因为它们体积极小——把50 000个这样的分子并排放在一起才相当于人类一根头发丝的直径，它们由同样的五边形碳原子构成，并且也和巴基球一样拥有不同寻常的强度。

纳米管的非凡之处在于，它可以表现出以硅元素为基础的电脑元件所具备的电子功能。如果纳米管是直的，它可以像金属导体一样导电，甚至导电性能更好。如果纳米管有一些螺旋形的弯曲，那它就可以履行晶体管的功能。可以利用纳米管制作各式各样的电子设备。

纳米管其实是由石墨构成的，其厚度相当于一粒原子，因此尺寸远远小于集成芯片上的硅晶体管。虽然纳米管非常小，却比硅元素的设备更持久耐用。此外，它们比硅更耐热，因此比硅晶体管更容易装配到三维阵列当中。加州大学伯克利分校的物理学教授艾利克斯·塞特尔博士认为以纳米管为基础的计算元件的阵列三维与人脑相似，但比人脑的容量更大、速度更快。

量子计算：茶杯中的宇宙

量子微粒是构成物质的梦。

——戴维·莫泽

现在为止，我们讨论的仅仅是数字计算，事实上还有一种更强大的方法，叫作量子计算。它可以解决连大规模并行处理数字计算机都无法解决的难题。量子计算机利用的就是量子力学自相矛盾的结果。事实上，这么说有点多余——因为量子力学的所有结果都是自相矛盾的。

要注意，加速回报定律和本书中的其他推测并不以量子计算为依据。书中的种种推测都以可随时测量的趋势为基础，而不是基于20世纪技术进步的不连续性。到21世纪，将不可避免地出现技术断层，届时量子计算势必可以证明自己的资格。

什么是量子计算呢？数码计算的基础是信息的“比特”，或开或关——要么是0，要么是1，交替循环。比特又被组织成更大的结构，比如数字、字母或者单词，事实上这些结构又可以代表任何一种形式的信息：文本、声音、图片、活动图像。从另一方面来看，量子计算的基础是Q比特，从本质上来看，就是0和1同时出现。Q比特的基础是量子力学中固有的模棱两可性。位置、动量或其他基本粒子的状态都保持这种“模棱两可”的状态，直到一种确定的过程让粒子“决定”自己的位置在哪儿、去过哪儿、具有何种性能等等。举例来说，假设一束光子以45°角投射到一块玻璃上，每一粒光子接触到玻璃的时候，都可以选择是直接穿过玻璃还是反射回来。每一粒光子都将同时选择两条路径（其实还不止于此，详见下文），直到一个有意识的观察过程强迫光子选择究竟要走哪一条为止。许许多多现代实验都已经充分证明了这一行为。

在量子计算机中，单个电子的一种性质可以代表Q比特——核自旋是一种比较普遍的选择。如果用正确的方式装配，电子就无法决定它们的核自旋的方向（上或下），因此会同时呈现出两种状态。电子旋转状态的有意识观察过程——或其他取决于这种状态的后续现象，都可以消除这种模棱两可性。这种消除模棱两可性的过程叫作量子退相干[注]。如果没有量子退相干，我们生活的世界将会是一团乱麻。

量子计算机的优点在于我们可以对它提一个问题，同时提供一个方法来检测答案。我们可以用这样的方法来设定Q比特的量子退相干，只有一个答案可以通过测试并在退相干中幸存下来，未通过的答案就相互抵消。因为还有很多其他方法（比如，递归和遗传算法），因此量子计算的关键之一在于，要仔细陈述问题，还要用明确的方法来检测答案。

Q比特系列代表要同时解决问题的答案。单个Q比特代表两个可能的答案。两个连接的Q比特代表4个可能的答案。一台拥有1 000个比特的量子计算机同时代表$2^{1\,000}$个（这一数据大约相当于一个十进制数字，由1开始，后面跟着301个0）可能的答案。这一问题的陈述（作为一项可以运用到潜在答案的测试来表达）出现在Q比特串当中，因此Q比特就进行退相干（也就是说，每个Q比特都从模棱两可的0~1状态转化为确定的0或1状态），留下了一系列通过测试的0和1。从本质上来看，所有这$2^{1\,000}$个潜在答案都同时做出了尝试，但只有正确答案通过了测试。

显然，通过量子退相干读取答案的过程正是量子计算的关键所在，同时这也是最难把握的一步。想想以下类比案例就明白了：刚开始学习物理的学生都知道，如果光以某种角度投射到镜子上，就会在镜子表面以同样的角度朝反方向反射回去。但根据量子理论就不是这样了。事实上，每个光子在镜子的任一可能角度都发生了反射，已经尝试了每一条可能的道路。不过大部分道路相互抵消了，只留下了经

典物理学预测的道路。假如镜子代表一个有待解决的问题，只有正确答案（光线以投射时的角度反射）才能在所有的量子取消过程中幸存下来，量子计算机的工作原理也是这样。解决问题答案的正确性就是用这样的方法设定的，大部分潜在答案——即没有通过测试的答案，会相互抵消，只留下可以通过测试的比特序列。因此，一面普通的镜子可以被视为量子计算机的特殊案例，尽管它只能解决非常简单的问题。

还有一个更有用的例子，加密代码的基础是对大数字进行因子分解（因子分解就是决定哪些较小的数字相乘可以得出较大的数字）。其实，用几百个比特对一个数字进行因子分解，这对任何一种数码计算机都是不可能的，即使我们有几十亿年的时间等待答案。一台量子计算机可以同时尝试每一种因素的潜在组合形式，并在不到10亿分之一秒的时间内解开密码（同人类观察者交流答案所花的时间要稍微久一点）。在其关键的消除模棱两可性阶段，量子计算机应用的测试非常简单：只需用一个因子同另一个因子相乘即可，如果答案等于加密编码，那我们就解决了这个问题。

据说，量子计算对数字计算而言就像氢弹对阵鞭炮。如果认识到数字计算本身就是革命性事件，就会懂得这种描述的非凡之处。这种类比建立在以下观察的基础上：假设（至少在理论上可以这样假设）一种如宇宙一般大小的（非量子）计算机，宇宙中的每一个中子、电子和质子都装进了这台计算机当中，并且每一个粒子（也就是宇宙中的每个微粒）都可以在每秒之内进行数万亿次计算。现在，想象一下这台宇宙般大小的超级计算机不能解决的某些问题，即使我们可以在下一次大爆炸或者宇宙中所有的星辰陨灭之后——大约100亿~300亿年后，都可以运行这台计算机。有很多有关于这种大规模难解问题的例子，比如说，用1 000比特破解加密代码，或者解决“旅行推销员到访1 000个城市”的问题。虽然大型数字计算机（包括理论上的那台宇宙

般大小的计算机）做不到，但这类问题对微型量子计算机而言却可以在10亿分之一秒之内就迎刃而解，不费吹灰之力。

量子计算机真的可行吗？研究进展表明，从理论上和实际操作上来看，答案都是肯定的。虽然真正的量子计算机还没有制造出来，但利用退相干方式的有效性已经得到了证明。洛斯阿拉莫斯国家实验室的艾萨克·庄和麻省理工学院的尼尔·格申菲尔德已经使用丙氨酸分子中的碳原子制造了一台量子计算机。他们的量子计算机只能做“1+1”之类的简单运算，但这仅仅是个开端。当然，几十年来我们一直在利用量子效应进行其他可操作的应用，比如晶体管中的电子隧道效应。注

咖啡杯中的量子计算机

设计可操作的量子计算机困难重重，其中一个困难便是其体积要特别小，基本上相当于原子或分子的大小。但要在热效应下让单个原子或分子移动非常困难。此外，一般而言，单个分子极其不稳定，无法用来建造一台可靠的机器。对于这些问题，艾萨克·庄和格申菲尔德实现了理论上的突破。他们的解决方案是，取一杯液体，把每一个分子当作一台量子计算机。现在，他们拥有的不是一台分子大小的不稳定的量子计算机，而是一个含有10^{23}台量子计算机的杯子。这个方案的意义不在于拥有更多的大规模并行计算，而在于出现了大量冗余。这样一来，一些分子不可避免的不规律运动对杯中液体包含的所有分子的统计行为就没有影响了。这种利用数万亿分子统计行为克服单个分子缺少的可靠性的方法，与阿德曼教授利用数万亿条DNA链克服DNA计算中类似问题的方法非常相似。

量子计算的方法也可以在不提前触发尚未读取的Q比特退相干的情况下，以1比特为单位读取答案。艾萨克·庄和格申菲尔德把他们的液

体计算机放在无线电波的脉冲下，让分子对信号做出反应，指示出每个电子的旋转状态。每次脉冲都会引起一些多余的退相干，但是，和之前一样，这些退相干不会影响数万亿分子的统计行为。这样一来，量子效应就可以既稳定又可靠了。

后来，艾萨克·庄和格申菲尔德又制造了一台可以因子分解小数字的量子计算机。虽然这种早期的模型无法同传统的数字计算机相提并论，但它有力地证明了量子计算的可行性。显然，适合做量子液体的最优选项就是一杯刚刚冲泡好的爪哇咖啡（Java coffee）[注]，格申菲尔德认为它拥有“非常优良的均衡加热特性”。

使用生命编码的量子计算

当我们可以把40 Q比特连接起来的时候，量子计算就可以取代数字计算了。一台40 Q比特的量子计算机可以同时评估一万亿个潜在解决方案，可以与速度最快的超级计算机相媲美。如果达到60比特，我们就可以同时进行10^{18}次尝试。如果达到几百比特，那么一台量子计算机的能力就可以远远超过任何一台数字计算机。

接下来谈谈我的想法。量子计算机的力量取决于我们能把多少Q比特连接起来。我们需要找一个特殊设计的大型分子承载大量信息。进化恰巧为我们设计了这样的分子：DNA。我们可以按照喜好从一小打到几千个核苷酸梯级当中随手创造任意尺寸的DNA分子。所以，将这两个优秀的想法结合在一起——把液体DNA计算机和液体量子计算机结合在一起，就可以得出一个比这两个部分之和更好的解决方案。把数万亿DNA分子放在一个茶杯当中，就可以制造一台高度冗余的（因此也是非常可靠的）量子计算机，我们就可以随意利用Q比特。记住，这个想法可是本书首创哦。

假设没人看答案

假如量子计算机依赖的量子模棱两可性是退相干的，也就是消除了模棱两可性的，而当时一个有意识的实体正在观察这种模棱两可的现象，事情会怎样呢？此时，那些有意识的实体正是我们，也就是量子计算机的使用者。但是使用量子计算机的时候，我们无法直接看到每个电子的核自旋状态。这种旋转状态是由一种装置来测量的，该装置也回答了量子计算机一直需要解决的问题。然后，这些测量值由其他电子产品处理，接下来再由传统计算设备处理，最后再由屏幕显示出来，或被打印在纸张上。

假设人类或其他有意识的生命实体根本不看这些打印出来的资料。这样的话，就不存在有意识的观察，因此也就不存在退相干。我之前说过，当有意识的生命实体决定与这个物理世界互动时，世界才会呈现出明确的状态。所以，带有答案的那张纸是模棱两可的、不确定的，直到（或除非）一个有意识的生命实体看见它为止。紧接着，所有的模棱两可性都逆向地得到了解决，答案就在那张纸上。这就表明，只有我们看的时候，答案才会显现。但是，也别惦记着过早地偷瞄答案，量子效应是瞬间的，看了也白看。

它到底有何用处？

量子计算的关键要求之一就是要有检测答案的方式。这种检测并非一直都有，然而，量子计算机将会成为一位伟大的数学家。它可以（在量子计算机Q比特能力之内）同时考虑每一种公理和业已解决的定理之间各种可能存在的组合，来证明或反驳任何可证明或不可证明的推测。虽然通常很难想出数学证明，但证明其正确性通常比较容易，所以很适合选用量子方法。

然而，量子计算在一些问题当中并不能直接运用，比如下棋。虽然在指定的棋盘上走出一步“完美的”棋是个难得的好案例，但同时也是一个棘手的计算难题，我们根本找不到简单的方法来检测这个答案。如果一个人或一个过程原本要呈现出答案，可眼下没有办法检测其有效性，只能建立一种同样的运动——反向运动模式，然后产生一开始就存在的答案。即便是对仅仅“很好的”一步棋，量子计算机与数字计算机相比也没有明显的优势。

在艺术创造方面怎么样呢？在这方面，量子计算机有着非常可观的价值。创造一件艺术作品，包括解决一系列（或许是一系列很庞大的）问题。量子计算机会考虑到各种元素之间可能存在的组合——单词、注释、笔画。我们仍然需要一种方法来测试美学问题的序列，但是量子计算机是在海量的可能性中进行迅速搜索的理想产品。

加密的摧毁与复活

上文提到过，量子计算机适宜解决的经典问题就是破解加密代码，这项技能的基础是对大数字进行因子分解。加密编码的强度是由需要对其进行因子分解的比特数量决定的。比如说，在美国，出口使用超过40比特的密码破解技术属于违法行为（如果把密钥交给它们，则可以提高至56比特），一个40比特的加密方法并不安全。1997年9月，加州大学伯克利分校的研究生伊恩·戈德堡用250个小计算机的网络在3.5小时内破解了一个40比特的密码。注一个56比特的密码要稍微安全一些（多出16比特实实在在的安全性）。10个月后，一位名叫约翰·吉尔摩的计算机隐私维权人士与一位名为保罗·科克的加密专家使用一台造价25万美元、经特殊设计的计算机，在56个小时内破解了56比特的密码。但是量子计算机可以（在其能力范围之内）轻松对任意大小的数字进行因子分解。量子计算技术将彻底摧毁数字加密技术。

技术的进步会带走一些东西，也会带来一些东西。一个相关的量子效应可以为加密技术提供永远不会被破解的新方法。还是要牢记，以加速回报定律的观点来看，“永远”已经远没有从前那样远了。

这个量子效应叫作“量子纠缠”[注]（quantum entanglement）。爱因斯坦对量子力学没有丝毫兴趣，他将这一效应称为“幽灵般的超距作用”。瑞士日内瓦大学的尼古拉斯·吉森博士在一项针对日内瓦全市的研究中已经证明了这一现象。[注]吉森博士在光纤中朝相反方向放入了两个相同的光子，一旦两个光子之间的距离达到11 000米，就会遇到一块玻璃板，它们既可以穿过玻璃板，也可以反射回来。因此，每个光子都被迫在两条具有相同可能性的道路中做出选择。由于两个光子之间不可能存在交流，经典物理学预言它们将独立完成自己的选择。但它们做了同样的选择，并且是立刻同时做出了同样的选择。所以，即使这两个光子之间存在不为人知的交流方式，也没有足够的时间以光速把交流信息从一个光子传递到另一个光子。这两个粒子就发生了量子纠缠，并且可以忽略二者之间的距离进行即时交流。很多光子对都具有这种效应。

这两个光子之间的交流速度远远大于光速。从理论上说，这一速度是无限的，因为根据量子理论，这两个光子的行进决定的退相干性几乎是同时发生的。吉森博士的实验足以证明这种交流至少要比光速快一万倍。

那么，这是否违背了爱因斯坦的狭义相对论呢（即，认为光速是传递信息的最快速度）?答案是否定的——纠缠的光子之间没有任何交流。光子的决定是随机的——量子的随机性是根深蒂固的，显然，随机性并不属于信息。信息的发送者和接收者同时接触纠缠光子对完全相同的随机决定，纠缠光子被分别用来加密或解密信息。因此，我们是以远远大于光速的速度来交流随机性，而不是信息。把光子的随机决定转换为信息的唯一途径就是，是否可以对光子决定的随机序列进

行编辑。但是编辑随机序列就需要观察光子的决定，这样又会引起量子退相干，而量子退相干又会摧毁量子纠缠。所以，爱因斯坦的理论是正确的。

虽然无法立刻使用量子纠缠效应传递信息，但传递随机性却大有用途。我们可以使被量子计算摧毁的加密过程复活。如果信息的发送者和接收者在一根光纤的两端，它们就可以利用之前搭配好的量子纠缠光子流的随机决定，分别对信息进行加密或解密。由于加密是随机且不重复的，所以不会被破译，也不会发生窃取信息事件，因为这会引起量子退相干，从光纤的两端都可以监测到窃取行为，这样一来也可以保护隐私。

要注意，在量子加密中，我们可以立刻传递密码。不过传递信息的速度要慢很多——只能以光速传递信息。

再探量子意识

计算机同人类各种能力相竞争的局面，使人们产生了一种强烈且通常不好的感觉，认为这种现象从理论上说是不可能存在的。其中一个较为有趣的论点来自牛津大学的数学家、物理学家罗杰·彭罗斯。

在其畅销书《皇帝的新脑》（The Emperor’s New Mind）当中，彭罗斯提出了两个猜想。注第一个猜想与数学家库尔特·哥德尔证明但未被广泛接受的定理有关。哥德尔著名的“不完备定理”一直被当作数学界最重要的定理之一，该定理认为，在一个足够强大且可以产出自然数字的数学体系当中，必然存在一种既无法证明也无法反驳的命题。

哥德尔定理的必然结论是，有很多数学命题无法由一种算法决定。其实，要解决哥德尔的这些难题需要的步骤几乎是无限的。所以，彭罗斯的第一个猜想是，机器无法做到人类可以做到的事，因为机器只能按照算法的指令运行。算法无法解决哥德尔的难题，但人类却可以。因此，人类更胜一筹。

然而，彭罗斯的第一个猜想——人类本来就比机器等级更高，却不那么具有说服力，原因有三：

1. 机器确实无法解决哥德尔的难题，但人类也不行。人类只能对其进行估算。计算机也会估算，并且会在将来的几年当中超越人类的表现。

2. 无论在何种情况下，量子计算都无法解决哥德尔的难题。解决其中任一问题都需要用无数步骤的算法。量子计算可以把传统计算机几万亿年都无法解决的难解问题转化成即时计算，但还是达不到无限计算。

3. 如果以上两个论点都是错误的，也就是说，就算人类可以解决哥德尔的难题，并且凭借自己的量子计算能力解决了这些问题，却还是无法将量子计算限制在机器的范围内。相反，如果人脑具有量子计算的能力，那也只能确认量子计算是可能的，遵循自然法则的物质可以进行量子计算。人类神经元中的任何一种机制都可以进行量子计算，比如可以在机器中复制微管。如今，机器也可以在数万亿设备当中利用量子效应——隧道效应。注没有任何证据表明只有人脑才能进行量子计算。

彭罗斯的第二个猜想更难解决：可以进行量子计算的实体都是有意识的。他认为，人类的量子计算能力是其拥有意识的原因。因此，是量子计算（量子退相干）产生了意识。

现在我们知道意识和量子退相干之间有一种关联。也就是说，意识观察一种量子不确定性可以引起量子退相干。然而彭罗斯断言相反的方向存在着关联，这种说法不符合逻辑。当然，从一般意义上来说，量子力学本来就没有逻辑可言——它只遵循量子逻辑（一些观察者使用“奇怪”一词来形容量子逻辑）。但是，彭罗斯的第二个假设也不符合量子逻辑。从另一方面来看，我不能立即反驳它，因为意识和量子退相干之间确实有一种强大的联系，因为是前者引发了后者。我已经琢磨这个问题三年了，但仍然无法坦然接受或者断然否定它。也许在我创作下一本书之前，我会对彭罗斯的第二个猜想产生一些想法。

运用逆向工程制造已被证明的设计：人脑

对许多人而言，随着科学不断普及，思维是神秘的最后避难所，他们并不希望科学的想法入侵未知领域的最后领地。

——丹尼尔·丹尼特，引自赫伯特·西蒙

难道我们不能让人们做自己，按照自己的方式享受生活吗？你是在试着制造另一个自己，但一个你就足够了。

——拉尔夫·瓦尔多·爱默生

对于年迈的智者而言……解决问题的办法就是知识和自律……在践行这条准则的时候，他们做好准备迎接人们的各种观点，这些事会被后人认为是恶心且不孝的——比如挖掘死者并对其进行肢解。

——C·S·刘易斯

智能是：（a）宇宙中最复杂的现象或（b）一个极其简单的过程。

当然，答案是（c），即以上两点都对。这是让生命变得有趣的另一个伟大的二元性。我们已经探讨过智能的简单性：简单的模式和简单的计算过程。现在让我们谈一谈复杂性。

让我们回到知识，它从简单的种子开始，后来变得像搜集知识的过程与混沌的现实世界互动一样详尽。的确，这就是智能的起源。它是进化过程的最终结果，我们称之为自然选择，它本身就是一个简单的模式，从其身处的混乱环境中汲取复杂性。当在计算机当中应用进化论点的时候也存在同样的现象。先从最简单的公式开始，把进化迭代的简单过程与大规模计算的简单性结合起来，所得出的结果通常是复杂、多能、智慧的算法。

大脑足够大吗？

我们对人类神经元的运作、对人脑神经元数量的估计以及对人脑内部连接的理解是否与我们对大脑能力的理解一致？也许人类神经元的能力要远远超过我们的认知。如果是这样，制造一台和人类智能水平相当的机器也许要比预期的时间更长。

我们发现，人类专家在某一领域已经掌握的概念的估计数量——“知识块”，具有非常显著的连贯性：5万~10万个。这一波动范围在人类努力的范围内似乎比较稳定：象棋大师掌握的棋盘位置数量、技术领域的专家（比如医师）掌握的概念数量以及作家掌握的词汇量（莎士比亚使用过2.9万个单词，注本书的字数比他使用的字数少很多）。

当然，作为正常生活的人类，只需掌握一小部分这种专业知识即可。世界的基本知识，包括所谓的常识要更多一些。我们拥

有识别模式的能力：口语、书面语、物体、面孔。我们也拥有自己的技能：走路、谈话、接球。我认为，根据合理的保守估计，一个普通人所掌握的各方面知识数量要比一位专家在其研究领域所掌握的知识数量多1 000倍。我们可以据此做一个大概估算，每个人大概有1亿个知识块，包括理解、概念、模式以及特殊技能。可以从下文看到，尽管这一估算偏低，大脑仍然非常大。

人脑中的神经元数量大约为1 000亿。每个神经元平均约有1 000个连接，共计100万亿个连接。有了这100万亿个连接和1亿个知识块（包括模式与技能），就可以估算出每个知识块大约有100万个连接。

计算机模拟神经网络使用了各种神经元模型，这些模型都相对比较简单。有人曾试图给现实中的哺乳动物神经元提供详细的电子模型，但这种努力似乎表明，虽然动物的神经元远比典型的计算机模型复杂，但它们在复杂性方面的差异却很小。即便是使用简单的神经元计算机版本，也可以模拟知识块——一张面孔、一个形状、一个因素或者一个词义，每个知识块都尽可能只使用1 000个连接。因此，对人类大脑中每个人类知识块大约有100万个神经连接的粗略估计是合理的。

大脑的确比较大。因此，我们把估算扩大1 000倍（对知识块的数量估计），这种计算仍然奏效。然而，可能大脑对知识的编码方法不如机器的方法高效。这种明显的低效与我们对人脑是保守设计的理解一致。大脑依赖于高度冗余以及密度相对较低的信息储存，这样才能获得可靠性并继续高效地运作，而不用担心随着年纪变大神经元损失的概率增高。

我的结论是，对于单个神经元的信息处理模型远比我们现在对它们的理解复杂，我们没必要过于在意，因为大脑足够大。

但是没必要模仿人脑的整个进化过程来解开它所蕴含的复杂秘密。就像技术公司将剖析并“逆向制造”（分析以便了解方法）对手的产品一样，对于人脑，我们也能采取同样的方法。毕竟，它是我们可以接触到的智能过程的最佳例子。我们可以分析人脑的架构、组织以及内部知识来加速理解如何才能在机器中加入智能。通过探索人脑的电路，我们可以复制并模仿这一已经证明的设计，这一设计花费了设计者几十亿年的时间才发展成现在的模样（它甚至没有版权）。

随着我们利用计算能力来模仿人脑——这一点尚未实现，不过有望在10年之内做到，我们会为之努力，我们甚至已经开始跃跃欲试。

比如，新思国际的视觉芯片就是将神经元组织复制到硅当中，当然，该芯片不仅模仿了人类视网膜，还模仿了哺乳动物早期阶段的视觉处理功能。它抓住了早期哺乳动物视觉处理算法的精髓，这种算法被称为“中央包围过滤”（center surround filtering）。它并不是一种复杂的芯片，而是真正抓住了人类视觉初级阶段的精髓。

有一种幻想颇受观察者们的欢迎，他们无论知识渊博还是肤浅，都认为逆向工程项目是不可行的。霍夫施塔特担忧地表示：“人脑也许太过脆弱，还无法了解它自己。”(注)但这种看法与我们的发现不符。在探索大脑神经电路时我们就发现，大规模并行处理算法并不是很难理解，它们也并非无限的数字。大脑中有成百上千个特殊区域，它们的构造相当精细复杂，这就是它经历了漫长岁月的进化的结果。大脑之谜并没有超出我们的理解范围。当然也不会超过21世纪计算机的理解范围。

知识就摆在我们面前，更确切地说，知识就在我们的身体里面。得到知识并非不可能。让我们从最直接的方案开始，从现在可以操作的方案开始（至少可以起步）。

我们就从冰冻最近死亡的大脑开始着手吧。

现在，在收到太多愤怒的声讨之前，让我拿达·芬奇当我的挡箭牌。达·芬奇也从他的同辈人那里得到了很多令人苦恼的谴责。这个小伙子从停尸房里偷了一些死尸，运回住处再肢解。这一切都是在解剖尸体为人们普遍接受以前发生的事。他以知识的名义做着这一切，在那时，这可算不上什么有价值的事。他只是想弄清楚人类的身体是如何运作的，但同辈人认为他的做法既诡异又失礼。现在的看法不同了，加深对身体这台奇妙机器的理解就是我们最崇高的敬意。我们总是依靠肢解死尸来了解活着的躯体是如何运作的，然后再将自己所学传授他人。

此处我的建议也没有什么差别。除了一件事：我谈论的是大脑，不是身体。这么说更贴切。我们对大脑的认识要多于对身体的认识。人们认为脑部手术要比脚趾手术更具侵略性。然而探索大脑所获知识的价值太过珍贵了，让人们无法对它置之不理。因为，我们将克服任何神经质的质疑。

正如我所说，我们先从冷冻死亡的大脑开始。这并不是什么新概念——美国国家心理卫生研究所的前任管理员、现任一家私人研究基金会心理健康分支带头人的E·富勒·托雷博士曾在44个冷冻箱中冷冻了226个大脑。[注]托雷及其助手想要了解是什么引起了精神分裂症，因此他所收集的所有大脑都来自已故的精神分裂患者，但这对我们的研究目的并没有什么帮助。

我们一次只检测了大脑上的一层，非常薄的一片。借助具备适当敏感度的二维扫描设备，可以看见每个突触——薄层中的每个神经元和每个连接。如果已经检测了一层并储存了必要数据，就可以将其刮除再看下一片。这一信息可以储存起来，组装成大脑连接和神经拓扑结构的巨大三维模型。

如果冷冻的大脑是刚刚死亡的，那效果更好。死亡的大脑将揭示更多有关活着的大脑的秘密，但显然这不是理想的实验品，因为有一部分脑死亡一定会通过神经结构恶化表现出来。大概我们也不想在死亡大脑的基础上设计智能机器，但可能会利用将死之人的大脑，不知道他们是否会允许我们在其大脑停止运转之前而不是在脑死亡之后轻轻地对其进行破坏性扫描。一位被判处死刑的杀人犯同意接受大脑和身体扫描，从“人类模拟中心互联网”的“可视人体计划”网站，[注]可以看见所有关于他的100亿字节的信息。网站上还有分辨率更高的250亿字节的女性材料。虽然这两个人的扫描结果的分辨率还不是很高，无法实现预期方案，但这却是捐献大脑做逆向工程的一个案例。当然，我们大概也不想利用一个杀人犯的大脑来设计智能机器。

无创扫描大脑的方式目前还只是空谈。上文中，我从比较具有侵略性的方案开始讲起的原因是，从技术上来看，这种方法要容易得多。事实上，现在我们已经有办法实行破坏式扫描技术（虽然在合理的时间内频带宽度还无法扫描整个大脑）。无创型、高速、高分辨率的磁共振成像扫描仪已经可以在扫描时不干扰活组织的情况下查看个人的体细胞（神经细胞体）。正在开发当中的、功能更强大的磁共振成像将可以扫描直径仅为10微米（百万分之一米）的个体神经纤维。在21世纪的头10年，这一设计会变成现实。最后，我们将可以扫描人类大脑中负责学习的地方——神经突触前的囊泡。

如今，我们可以利用磁共振成像扫描仪窥探别人的大脑内部，随着这种技术不断更新换代，分辨率也会不断增加。要实现这个目标还面临着许多技术挑战，包括达到合适的分辨率和频带宽度（即传递速度），缺乏振动和安全性等。由于各种各样的原因，扫描一个刚刚死亡的大脑要比扫描仍然活着的大脑难度更低。（其中一个原因是，让一个死去的人静静坐着要更容易一些。）但随着磁共振成像和其他扫描技术不断提高分辨率和速度，用无创型技术扫描活人大脑将最终变得可行。

以色列魏兹曼研究所的阿米拉姆·格林瓦尔德开发了一种叫作光子成像的新型扫描技术，这种技术的分辨率要远远高于磁共振成像的分辨率。如同磁共振成像一样，它的基础是神经元的电子活动与给神经元补给能量的毛细血管中血液循环之间的互动。这一装置的分辨率达到了50微米以下，并且可以实时运作。当大脑参与处理视觉信息时，格林瓦尔德及德国马克斯·普朗克研究所的研究员们被神经活动模式的高度规律性难住了。(注)其中一个研究员是马克·许贝纳博士，他这样评价道："工作中的大脑图像非常有序，像曼哈顿的地图，而不是像中世纪的欧洲小镇地图。"格林瓦尔德、许贝纳及其助手们都能够利用大脑扫描仪来区分不同的神经元，比如负责观察深度、形状、颜色的神经元。由于这些神经元会彼此互动，所以神经活动的结果模式就像仔细拼接在一起的马赛克图案。研究员可以通过扫描看见神经元之间是如何进行信息补给的。举例来说，他们注意到负责感知深度的神经元呈平行排列，为感知形状的神经元提供信息并形成更详尽的类似纸风车形状的模式。现在，格林瓦尔德的扫描技术只能使接近大脑表面的薄层成像，不过魏兹曼研究所正努力改进技术，试图扩展它的三维能力。格林瓦尔德的扫描技术也促进了磁共振成像扫描分辨率的提高。一项最近的研究发现，红外光可以穿过颅骨，这个发展更令人兴奋，因为光子成像可能成为具有高分辨率的大脑扫描技术的方法。

诸如磁共振成像这样的无创型扫描技术正在飞速发展，其背后的推动力还是加速回报定律，因为它需要运用大规模计算能力，从磁共振成像扫描仪生成的原始磁共振模式当中构建高分辨率的三维图像。由加速回报定律提供的呈指数级增长的计算能力（以及生效了15~20年的摩尔定律），将使人类能够继续迅速提高这些无创型扫描技术的分辨率和速度。

以突触为单位绘制人脑图像似乎是一个不可能完成的任务，但人类基因组计划却做到了，1991年该计划开始时，他们便绘制了人类基

因图。虽然人类遗传密码的容量还未被破解，但美国的9个基因组测序的中心有信心完成这项任务，目标日期是2005年，即使届时没有实现，也不会拖延太久。最近，一个拥有珀金——埃尔默基金的私人企业公布了要在2001年为整个人类基因组排序的计划。我在上文提及过，在早些年间，人类基因组的扫描进程非常缓慢，随着技术不断进步，扫描速度也在加快，尤其那些可以识别有用基因信息的电脑程序更是贡献了力量，研究人员还希望研究基因的电脑程序可以达到预期。人脑图像绘制项目也是如此，由于加速回报定律，扫描方法和记录100万亿神经元连接的技术也加快了发展速度。

信息用来做什么？

使用细节化的大脑扫描技术会得到两种方案。最直接的——通过扫描来了解大脑就是扫描大脑的各个部分，来探知不同领域的神经元连接的结构和潜在算法。每个神经纤维的具体位置并不像整体模式那么重要。获取这些信息后我们就可以设计模仿型的神经网络，使之以类似的方式运作。这一过程就像一层一层剥开洋葱的皮一样，人类智能将最终显现出来。

新思国际就采用了这种做法，该公司研制的芯片模仿了哺乳动物视神经成像的处理过程。这也是格林瓦尔德、许贝纳及其助手计划对他们的视觉皮层扫描时所采取的做法。还有很多其他项目要利用扫描大脑某些部分，并把结果运用到智能系统的设计当中。

在同一领域中，大脑电路的重复率极高，因此同一区域中只有一小部分需要全面扫描。从计算来看，一个神经元或一组神经元的相关计算性活动非常简单明了，我们可以通过扫描来了解并模仿这些方法，一旦观察、记录并分析了神经元的结构和拓扑、神经元间接线的组织以及某一区域神经活动的序列，就可以对这一区域的并行算法进

行提炼。对该区域的所有算法都了然于心之后，就可以将它们改良，然后将其运用于模拟神经系统。如果电子已经比神经电路快100万倍，那么这些方法无疑就可以迅速加速。

我们可以将已得到的算法同已经了解的制造智能机器的方法结合起来，我们也可以放弃对机器来说没什么用处的人类计算。当然，我们必须要小心行事，这样才不会把婴儿和洗澡水一起泼出去。

把思维下载到个人计算机上

还有一个更具挑战性和可行性的方案是扫描人类的大脑，绘制出具体位置、相互之间的连接、体细胞的成分、轴突、树突、突触前囊泡以及其他神经部分。然后整个脑组织就可以在一台内存足够大的神经计算机中被重造出来，大脑中的存储内容也可以被重造。

显然，这要比“扫描大脑来了解它”的方案困难一些。在前一种方案中，我们只需要足够的区域就可以明白一些较为显著的算法，然后把这些见解同已有的知识结合起来便可。但在这一种“扫描大脑并下载”的方案当中，我们需要抓住每一个细节。从另一方面来看，我们无须理解所有细节，只需对其进行复制即可，只要需要对神经连接、突触、神经递质进行逐个复制即可。它要求我们理解当前大脑的运算过程，但没必要理解整个大脑组织，至少不用全盘理解。等到我们可以做到这一点的时候，也许就可以大概了解大脑组织了。

为了能正确地做到这一点，我们需要了解究竟什么是最重要的信息处理机制。大部分神经元的详细结构存在的目的是为了支持自身的神经完整性以及生命进程，并不直接参与处理信息的过程。我们知道，神经计算处理的基础是几百个不同的神经递质，不同区域的神经机制使得不同类型的计算得以进行。例如，早期的视觉神经元十分擅

长区分突然变化的颜色，方便人们辨别物体的边缘。海马状神经元似乎有一种结构可以有助于长期记忆的维持，我们还知道神经元能够利用数字和模拟运算结合，这是需要精确模拟的。我们还需要确定能够进行量子计算的结构，如果这种结构存在的话。如果我们要进行精确复制，就要注意识别这些影响信息处理的关键特征。

它的运转情况将会如何？当然，就像任何新技术一样，一开始它也不会尽善尽美，起初的下载结果也许并不令人满意。不过，人们并不一定会很快注意到一些小瑕疵，因为人们总是在不断变化。

随着对大脑机制理解的增加，我们精确地、非侵入性地扫描这些特征的能力也在增强，再组装（重新安装）一个人的大脑对思维的改变不会超出大脑自身的日常变化。

这样做，我们会有何发现？

我们必须从主观和客观两方面来考虑这个问题。“客观”指的是除“我”之外的每个人，那就先从这一点开始吧。客观来讲，当我们扫描某人的大脑，把他们的思维文件重新组装到一个合适的计算媒介当中时，一个新的“人”出现了，对其他观察者而言，他和接受扫描的人一样，有着完全相同的人格、经历和记忆。与重新组装的人进行交流的感觉就如同与接受扫描的人交流一样。这个“新人”将声称自己和以前的人完全一样，将拥有那个人的记忆，他在布鲁克林长大，走进了这里的扫描仪，并从机器中苏醒。他将会说：“嘿，这项技术真的有用。”

这个“新人”的身体还有一个小问题。一个重新组装而成的思维文件将会拥有什么样的身体呢：那个人原有的身体，一个升级版的身

体，到一个合成的身体，一个纳米技术的身体，还是一个虚拟环境当中的虚拟身体？这是一个重要问题，我将在下一章当中继续探讨。

主观来讲，这个问题更微妙也更深刻。这个“新人”是否拥有和接受扫描的人一样的意识？我们在第三章当中谈论过，两种答案都有很多观点。认为我们还是自己最基本的“模式”的观点（因为我们的粒子时刻处在变化之中）认为，这个“新人”跟我们完全一样，因为从本质上来看，他的模式和我们完全一样。但是，反对观点却认为，接受扫描的人可能会继续存在。如果他——杰克还在的话，他将令人信服地宣布他代表着意识的继续。也许他对自己的心灵克隆人替代自己这一点并不满意。随着继续探索21世纪，我们也将遇到这一问题。

而一旦越过这一分歧，这位新人一定会认为他就是最初那个人。他的脑海中不会有任何矛盾情绪，他不会纠结于自己同意转移到一个新的计算基质、抛下以碳为基础的神经计算机器的行为算不算自杀的问题，直到他怀疑自己究竟是不是他认为的那个人，他将高兴地发现以前的自己这么果断就做了决定，否则他早就不复存在了。

他——重新组装的思维有意识吗？他当然会声称自己有意识。并且比以前的自己更有能力，他将令人信服而又有效地证明这一点，我们也将信以为真。如果我们不相信的话，他一定会大发雷霆。

不断成长的趋势

21世纪下半叶，将有一股越来越强的趋势向这一方面发展。起初将会有部分植入技术取代老化的记忆电路，通过神经移植的方法延伸模式识别及推理神经电路。最终，在21世纪过去之前，人们将可以把整个思维文件移植到新的思想技术当中。

那时，我们将会怀念以前微不足道的以碳为基础的神经根基，甚至怀念乙烯基唱片。最终，我们把部分模拟音乐拷贝到更加灵活、能力更强的可转移的数字信息世界当中。把思维植入到更有能力的计算媒介当中的时代将不可避免地朝我们走来。

神经移植的时代已经到来

病人们躺在担架上向前移动着。他们正遭受晚期帕金森综合征的折磨，活像一具具雕像，肌肉被冻僵了似的，肢体和面庞完全动弹不得。在一座法国诊所里上演了一场戏剧性的演示，责任医生开启一个电子开关。病人们就突然活了过来，起身下床、四处走动，平静而又意味深长地诉说着如何战胜了虚弱的症状。这是新型神经移植疗法的戏剧性结果，已经在欧洲获得批准，在美国在还等待FDA（美国食品药品监督管理局）的许可。

帕金森患者体内的神经递质多巴胺逐渐减少，其结果是大脑中两个小区域变得过于活跃，即：腹后核及视丘下核。这种过于活跃的状态反过来又引起了行动缓慢、躯体僵直以及迈步困难等症状，最终导致患者全身瘫痪并死亡。法国格勒诺布尔第一大学的医师A·L·拜内彼得博士（A. L. Benebid）发现，用永久植入型电极刺激这些区域似乎能抑制它们过于活跃的状态，并减轻病症。电极被连接到一个小小的电子控制部件上，放在患者的胸部。通过无线电信号可以对这个部件进行编程，甚至还可以控制其开关。关上部件之后，立刻恢复到病态症状。这种治疗手段将有望控制最严重的疾病症状。

类似的方法已经在大脑的其他区域使用过。比如说，在丘脑腹外侧植入一个电极，可以抑制由大脑性麻痹引起的震颤，多发性硬化症以及其他由震颤引起的症状都可以得到抑制。

一位帮助完善“深层大脑模拟”疗法的美国医师里克·特罗施（Rick Trosch）说道：“以前，我们对待大脑就像对待汤一样，加点化学药剂来加强或者抑制某些神经递质。现在，我们像对待电路系统一样对待它。”㊟

通过像对待复杂的计算系统那样对待大脑和神经系统，我们渐渐开始战胜认知和感官上的疾病。耳蜗植入与电子语音处理器可以频繁地分析声波，就像内耳的功能一样。大约有10%的聋哑人在接受这种神经移植装置后恢复了听力，并能够理解声音的含义，可以使用普通的电话进行交流。

哈佛医学院的神经学家、眼科医师约瑟夫·里佐博士（Joseph Rizzo）及同事开发了一个试验性的视网膜移植手术。里佐的神经移植体是一个小型太阳能计算机，可以和视神经交流。使用者戴上装有微型摄像机的眼镜，摄像机通过激光信号与植入的计算机相连。㊟

德国马克斯·普朗克研究学会的生物化学研究人员已经开发出了特殊的硅设备，可以在两个方向同时与神经元交流。直接用电流刺激神经元并不是理想途径，因为它会腐蚀电极并产生新的化学副产品从而损坏细胞。相反，马克斯·普朗克研究所的装置可以在不直接触发电子联系的情况下触发毗邻的神经元活动。研究所的科学家们通过使用计算机控制一只活水蛭移动演示了他们的实验发明。

从反方向来看——即从神经元到电子，是一种叫作“神经管”的装置，它可以探测到神经元活动。利用这两种技术，科学家希望通过连接脊神经与计算机化假体的方法来控制人造义肢。研究所的彼得·弗莱姆海尔孜（Peter Fromherz）说道：“这些装置加入了两个信息处理的世界：计算机的硅世界以及大脑的水世界。”

神经生物学家特德·贝格尔（Ted Berger）及其在赫德克神经科学与工程研究所（ Hedco Neurosciences and Engineering）的同事构建了一种集成电路，可以精确地将物质与动物神经元群组的信息处理匹配起来。这种芯片正是模拟了数字与他们分析的神经元类比特点。现在，他们把技术扩大到包含成百上千个神经细胞的系统。注加州理工学院的卡弗·米德（Carver Mead）教授及其同事已经制造了一种数字——类比集成电路，可以同成百上千个神经元组成的哺乳动物神经电路相媲美。

神经移植的时代已经到来，尽管它还处在早期阶段。用合成电路直接加强大脑的信息处理，首先应集中在改正由神经和感官疾病引起的显著缺陷上。最终，我们将发现，通过神经移植的办法来延伸能力所带来的好处是很难让人拒绝的。

在我们植入自己的时候，其实也在大规模地延伸自己。别忘了，2060年时价值1 000美元的计算机计算能力将相当于一万亿个人脑，所以，我们不妨将记忆乘以一万亿次，这就极大地拓展了我们的识别能力和推理能力，也将我们拉入无处不在的无线交流网络。在这个网络中，我们可以把所有人类的知识都添加进来——已经有一个随时可用的内部数据库，以及用人类那种分配式理解的方法处理和学习到的知识。

新的死亡

事实上，到了21世纪末将不会再有死亡。当然，此处所指并不是我们平常理解的那种死亡。你可以利用21世纪大脑移植的技术避免传统意义上的死亡。到目前为止，人类的死亡同我们的硬件寿命密切相

关。硬件销毁，寿命也就走到了尽头。对于我们的很多先辈来说，硬件会在它分解以前逐渐恶化。叶芝（Yeats）注曾哀叹我们对肉体身躯的依赖，他认为肉体“不过是一件毫无价值的东西，一件木棍上的破烂外套罢了”。注当我们跨过这道分水岭，把自己当作计算技术的对象，我们的身份就会建立在进化中的思维文件基础上。我们将会是软件，而不是硬件。

而且变成软件的我们也会进化。如今，我们的软件不会增长，它卡在一个仅有100万亿连接和突触的大脑当中。但是当硬件的能力增长到原来的数万亿倍的时候，我们的思维就没有理由局限在这个小小空间里了，它们也将增长。

在我们成为软件后，我们的死亡将不再取决于计算电路的存亡。虽然硬件和躯体仍将存在，但是我们身份的本质将取决于软件的永久性。正如现在更换个人电脑的时候不能把文件也一并抛弃一样——至少会把我们想要保留的文件转移出来。同理，当我们周期性地把自己移植到最先进、更有能力的“个人”电脑当中时，我们也不会抛弃自己的思维文件。当然，计算机不会再是今天这样的独立部件，它们将深深地嵌入我们的身体、大脑以及环境当中。我们的身份和生存最终都将独立于硬件及其存亡之外。

我们的不朽将取决于是否经常极其小心地注意备份。如果大意了，将不得不重新装载一份老的备份，而这意味着我们不得不重新经历一遍刚刚发生的事。

让我们看一看21世纪的另外一面。你说过，到2099年，价值一美分的计算成本将等于所有人类大脑计算能力总和的10亿倍。听上去好像人类的思考能力将变得无足轻重。

没错，很无助，

那在这样的竞争环境中，我们人类该如何存活?

首先，我们要认识到，更强有力的技术——从技术角度来看更高级更复杂的文明，总是会胜出。当我们的智人祖先和智人亚种遇到尼安德特智人和其他没有存活下来的智人亚种时，似乎就是这种情况。当拥有更先进技术的欧洲人遇到美洲土著人的时候也是这种情况。如今，这种更高级的技术是经济和军事力量的关键决定因素。

所以，我们将成为智能机器的奴隶?

奴隶制并不是智能时代能使双方都有丰厚收获的经济体系。对机器而言，我们做奴隶没有任何价值。正相反，这种关系正朝着另一个方向发展。

我的电脑确实会做我要求它做的事——但也只是有时候！也许我应该对它友善一点。

不，它根本不在乎你怎么对它。但是最终，我们自身的思考能力将无法与我们创造的全能技术相提并论。

也许我们不应该再继续生产电脑了。

我们不能停下来。加速回报定律禁止我们这么做！这是保持进化加速前进的唯一办法。

嘿，冷静点儿！对我来说，就算进化慢一点儿也没什么大碍。从什么时候起你的加速回报定律变成整个世界的定律了?

我们没必要这样。停止发展电脑技术或任何一项令人类收获颇丰的技术都意味着否认经济竞争的基本事实，更别提拒绝对知识的追求了。这是不会发生的。此外，我们走的道路是用黄金铺就的，铺满了

我们绝不会拒绝的好处——经济继续繁荣发展、人类身体更加健康、更多的通信、更有效的教育、更普及的娱乐、更棒的性生活。

直到电脑剥夺了这一切。

听着，这可不是外星人入侵地球。虽然听上去有点让人不安，但机器和智能的到来未必是件坏事。

我想，如果我们无法打败它们，就得和它们成为一伙儿。

这正是我们要做的。计算机是以人类思维的延伸为开端的，它们也将以延伸人类思维而结束。机器已经成为人类文明中不可或缺的一部分，21世纪感官化的精神机器将成为人类文明中与人类联系更紧密的一部分。

好吧，从思维延伸来看，还是回到为我的法国文学课做植入手术的问题吧。我会不会对植入人脑的内容有一种似曾相识之感？还是说植入的物体就像一台可以和我顺畅交流的智能个人计算机一样，因为它恰巧安置在我的脑袋里？

这是个关键问题，我觉得它将引起争议，它又回到了意识的问题。有的人认为他们的神经植入确实应该归属在自己意识的范畴内，还有的人认为它应该排除在自我感知之外。最后，我认为我们应该把植入的思维活动划分到自己的思考范围内。想想看，要是没有植入，意见和想法将不停地涌出脑海，对于这些想法到底来自何处、又将去往何方，我们一无所知。然而，我们会把所有意识到的思维现象都当作自己的想法。

所以，我可以把那些我从未有过的经历和记忆下载下来？

是的，这样的经历或许别人有过。所以，为什么不去分享呢？

我觉得，对有些经历而言，可能下载与它有关的记忆会更安全一些。

这样也更节约时间。

你真的认为扫描冷冻大脑的技术现在是可行的吗？

当然，把你的脑袋伸进我的冷冻箱就可以了。

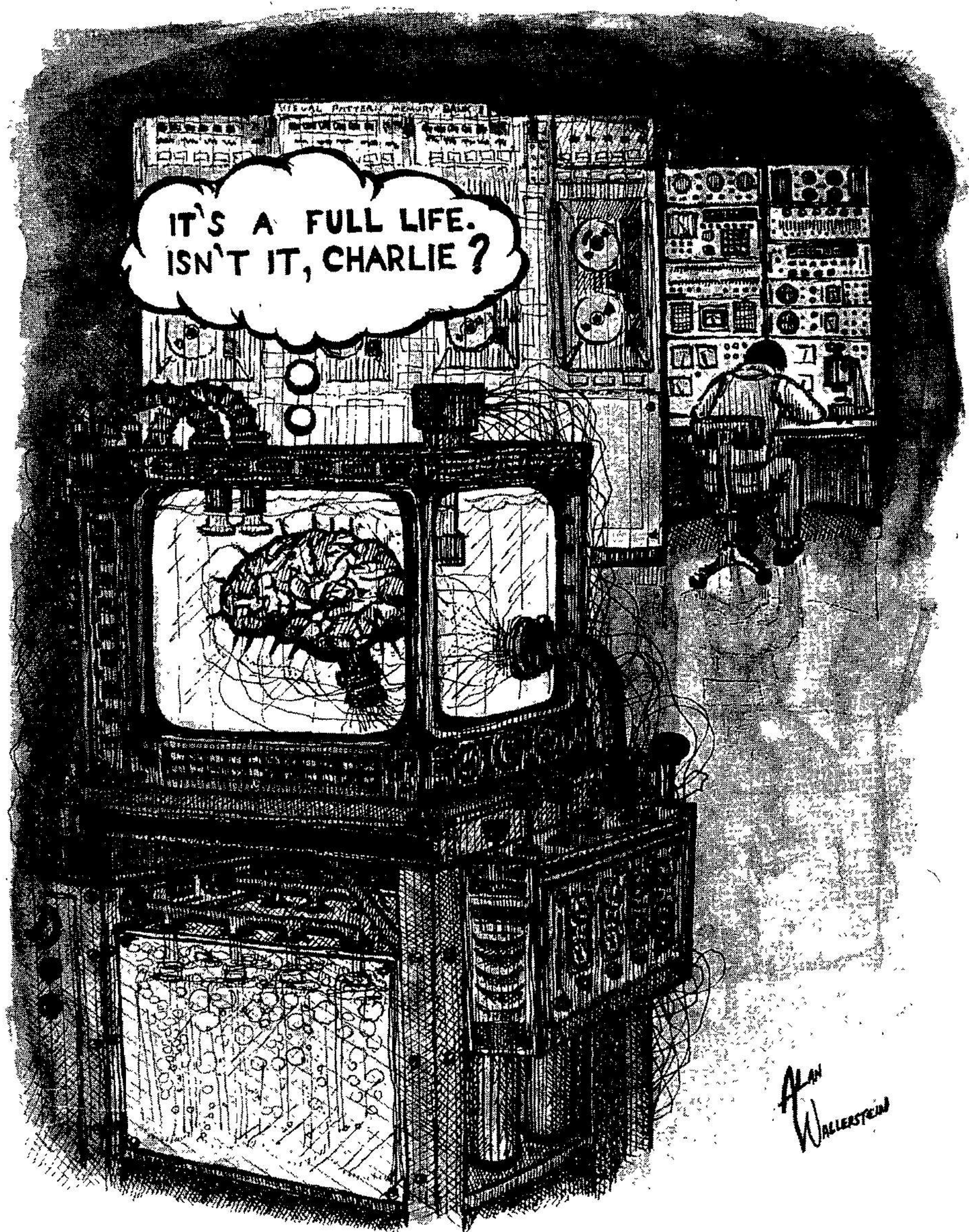
天哪，你确定这样做安全吗？

嗯，我觉得还得等FDA批准才行。

好吧，看来你得等很久。

想到以后，我还是觉得人类文明快结束了。我是说，我能理解，当你创造了一种新组装的思维后，她将感到很高兴，并且认为在我进行扫描之前她就业已存在了，她会认为她是一个拥有崭新大脑的我。她将毫无悔意地处在“另外一侧”。但我不明白“我”要如何穿越这个人类——机器的分水岭。就像你说的，如果我接受扫描，那么新的我就不是我，因为我的大脑还是从前那个旧大脑。

是的，在这方面还有一个小问题。但我确定只要稍加考虑，一定可以找到解决这个棘手问题的方法。



“这是个完整的生命，对吗查理？”

1.　　兆字节是计算机存储容量单位，也常用MB来表示。——编者注

2. 浮点运算，用于衡量计算机性能，浮点运算就是实数运算。——编者注

3. 量子退相干指一个量子系统状态之间相互干涉的性质随着时间流逝逐渐消失。——译者注

4. 爪哇是咖啡的著名产地之一，Java作为程序设计语言的名称有个有趣的故事，Java语言中的许多库类名称多与咖啡有关，如Java Beans（咖啡豆）、NetBeans（网络豆）、Object Beans（对象豆）等。——编者注

5. 量子纠缠又称量子缠结，是一种量子力学现象，是粒子在由两个或两个以上粒子组成的系统中相互影响的现象。——编者注

6. 叶芝，爱尔兰诗人、剧作家和散文家威廉·巴特勒·叶芝，亦译“叶慈”、“耶茨”。——编者注

7. Hans Moravec可能是在他1998年的著作Robot: Mere Machine to Transcendent Mind（Oxford University Press;但至今未见出版）做出的此番论述。

8. 一台1998年的个人计算机每秒计算1.5×10^8次，到20^{25}年会翻2^{27}番（这意味着计算机内的零件数量和单个零件运算速度每两年就翻番），即每秒计算2×10^{16}次。1998年，传统的个人电脑中经过多重计算才能模拟神经连接计算。然而到2020年，计算机会因完成神经连接计算的需要而（以及其他模拟神经细胞功能需要的具有高度重复性的计算）优化。要注意，神经连接计算比个人电脑中的普通计算要更简单、更常用。

9. 1998年每1 000美元金可购买5×10^9比特，到2023年这个数目会翻2^{17}番，合约10^{15}比特。

10. NEC要制造一台最大计算量为每秒多于32万亿次浮点运算的超级计算机的目标，发表于“NEC Begins Designing Worlds Fastest Computer,”Newsbytes News Network,January 21,1998编年部分。

    1998年，IBM成为参加能源部21世纪超级计算机开发项目PathForward的四家公司之一，其他三家分别为Digital Equipment Corporation,Sun Microsystems, Inc和Silicon Graphics/Cray Computer Systems （SGI/Cray）。PathForward是Accelerated Strategic Computing Initiative（ASCI）项目的一部分。

11. 通过对零件数量和速度的完善，计算机的计算能力将每12个月就翻一番，或每10年就在原有基础上乘以1 000。假设到2020年，价值1 000美元的计算机约与人脑的计算能力（即每秒2×10^{16}次计算）相当，基于此预测，可以推算2040年，价值1 000美元的计算机约与100万个人类大脑的总计算能力相当，到2050年约与10亿个人脑的计算机能力相当，2060年约与一万亿个人类大脑的总计算能力相当。

12. 到2099年，价值1 000美元的计算机的计算机能力约为人脑的10^{24}倍。先估算100亿个人脑的计算能力，约合所有人脑总计算能力的10^{14}倍，因此价值一美分的计算机的计算量约为所有人脑的10^9倍。

13. 根据间断平衡理论，进化总是在经过一段相对平稳的时期后突然发生的。有趣的是，我们在进化算法中也能观察到相似的现象。

14. Dean Takahashi,“Small Firms Jockeying for Position in 3D Chip Market”, KnightRidder/Tribune News Service,September 21, 1994, p. 0921K4365.

15. Computer （vol. 31, no. 2）（1998年2月刊）全部都在讨论光学计算机和光学存储方式的现状。

    桑尼·贝恩斯撰写的有关各个公司利用光学计算机开发指纹识别和其他应用的文字见“Small, Hybrid Digital/Electronic Optical Correlators Ready to Power Commercial Products: Optical Computing Comes into Focus.”EETimes, January 26, 1998, issue 990.

16. 了解DNA计算的非专业性介绍，参读Vincent Kiernan,“DNA－Based Computers Could Race Past Supercomputers, Researchers Predict”,Chronicle of Higher Education（November 28, 1997）。Kiernan讨论了威斯康星大学罗伯特·科恩博士和莱纳德·阿德尔曼博士各自进行的研究。

    了解有关莱纳德·阿德尔曼针对计算机设计的DNA编程程序，可参考“Molecular Computation of Solutions to Combinatorial Problems”from the November 11, 1994, issue ofScience（vol. 266, p. 1021）。

17. 兰伯特斯·海塞林克的相关研究报道，见Phillip F. Schewe & Ben Stein,Physics News Update （no. 219; March 28, 1995）.

18. 了解更多纳米管和巴基球的内容，可参考Janet Rae－Dupree,“Nanotechnology Could Be Foundation for Next Mechanical Revolution,”Knight－Ridder/Tribune News Service, December 17,1997, p. 1217Kl133.

19. Isaac Chuang和Neil Gershenfeld的研究报道可参考“Cue the Qubits: Quantum Computing,”The Economist 342, no. 8005 （February 22, 1997）: 91－92，以及Dan Vergano,“Brewing a Quantum Computer in a Coffee Cup,” Science News 151, no. 3 （January 18, 1997）: 37.

    其他量子计算研究团队还包括Information Mechanics团队，来自MITs Lab for Computer Science，和Quantum Computation Group团队，来自IBM.

20. “Student Cracks Encryption Code,”USA Today Tech Report, September 2, 1997.

21. Mark Buchanan,“Lights Spooky Connections Set Distance Record,”New Scientist, June 28, 1997.

22. Roger Penrose,The Emperors New Mind （New York: Penguin USA, 1990）.

23. 要理解隧穿效应，就必须先了解晶体管在集成电路板中的工作原理。一块集成电路板由许多电路组成，每个电路由上千或上百万个晶体管组成，由电子设备控制电流流通。晶体管由半导体材料（根据电流是否接通可在导体和绝缘体两种状态间切换）制成，最初的晶体管由金属锗制成，后来被硅取代。

晶体管的工作是控制电荷流通，可在一秒内改变数百万次电荷流通状态。隧穿效应指的是电子（绕原子核运动的粒子）能移动穿过或“凿穿”硅板。电子之所以能穿过障碍物，是因为量子不确定性导致电子可同时存在于障碍物的两边。

24. 知识块可能比所有单词总和要大，因为每个单词的用法不止一种，意义也不止一个。每一种不同的单词意思或用法通常被称为一种“词义”，莎士比亚似乎用到了至少10万种词义。

25. 摘自Douglas R. Hofstadter, Gödel,Escher, Bach: An Eternal Colden Braid（New York: Basic Books, 1979）.

26. Michael Winerip,“Schizophrenia's Most Zealous Foe”,New York Sunday Times, February 22, 1998.

27. Visible Human Project旨在创造高度精细的三维人体图像，它正在收集人体横截面的CT、MRI和低温切割图像。

28. Researchers Mark Hubener, Doron Shoham, Amiram Grinvald和Tobias Bonhoeffer将光学成像的实验内容发表在了“Spatial Relationships among Three Columnar Systems in Cat Area 17,”Journal of Neuroscience17（1997）:9270－9284.

29. 内容来源于作者1998年4月对Trosch博士进行的电话访问。

30. Rizzo博士的研究在Finn的文章“Neural Prosthetics Come of Age as Research Continues”中也有涉及。

31. Robert Finn,“Neural Prosthetics Come of Age as Research Continues.”

32. W B.Yeats,“Sailing to Byzantium”,from Selected Poems and Two Plays of William Butler Yeats, edited by M. L. Rosenthal （New York: Macmillan,1966）.

第七章
虚拟现实：再造一个“客观世界”



让我们先来看一段读者日记。

先等等。

怎么了？

首先，我有名字。

没错，这儿应该介绍一下你的名字。

我叫莫莉。

谢谢，还有别的要说的吗？

有，我不确定是否已经准备好和其他读者分享我的日记。

大部分作家不会与读者互动太多，但你是我的创造品，所以我有权支配使用你思想中有用的部分。

我是你的创造品，但你不记得自己在第二章说过的话吗？创造品有可能超越其创造者。

我说过，如此一来，我应该更注重你的意见和想法。

听上去不错——请允许我先审核一下你选中的篇幅内容。

没问题。下面让我们读读节选自莫莉日记的片段吧，这部分可是经过精心编辑的：

> 我已改吃脱脂松饼了，这样做有两大好处：一来，脱脂的松饼热量少；二来，它们不好吃，我也就不大想吃。但我希望别人不要在我面前显摆食物……明天宿舍聚餐时我肯定会遇上大麻烦，我觉得自己肯定什么都想尝尝，很可能搞不清自己吃的是什么。
>
> 我早该减肥了，至少得看出腰来，当然越显腰身越好咯，这样，这条新裙子上身后就不至于那么勒得慌了。或许回家的路上我应该去一趟健身房，或许那个新来的教练会注意到我，实际上我早就发现他在看我，但我当时真的不知道该怎么用那些新器械，可就在这个当口他却把脸转到另一边去了……我对周边的情形没有多关注，如果天色稍晚，开车过去都觉得不大安全。好了，现在有主意了，我去问问那个教练是否愿意陪我走到停车处呗，当然得先问问人家叫什么名字才行。无论何时，安全第一总是没错的。
>
> 我有点担心脚趾上的肿块，医生说这类肿块通常是良性的，但为确保无误，他还是希望切除肿块并拿去化验。他向我保证打了麻药就不会疼——但是我讨厌打针！
>
> 见到前男友了，有些尴尬，但很高兴我们还是朋友。他抱我的时候我感觉还不错……

谢谢你，莫莉。现在，让我们思考一下这个问题：如果莫莉没有身体，那上面这些日记节选还剩多少有意义的内容？莫莉的思维活动大多指向身体，并与身体的存活、安全、健康、形态息息相关，更不

用说与身体的情感状态、性别、繁衍后代的关联了。但这并非莫莉独有的特征，现在请各位读者翻阅一下自己的日记（如果没有，可以考虑一下如果要写的话你会写什么），想一想如果自己没有身体，你的日记有多少有意义的内容？

人类身体的地位举足轻重。上一章节开头我提到了一些我们企图利用智力达到的目的，它们都与身体有关，包括保护身体安全、为身体补充能量、保持迷人身形、身体感觉良好、满足其包括性欲在内的各种需求等等。

一些哲学家——最有名的当属人工智能批评家休伯特·德雷福斯认为，没有身体的支撑，机器要达到人类智力水平根本就是天方夜谭。(注)所以，如果要将人脑完全向新型电脑传输介质敞开，我们必须先建立一个身体。没有身体支撑的思维将会迅速瓦解崩溃。

21世纪的身体

是什么造就了心灵？机器若有心灵，那它的精神药物是什么？心理疾病又有哪些？还有它坐在整洁的办公室里能感受到与人类类似的生理或心理愉悦感么？

——埃特·戴森

人类这种机器太神奇了！喂他面包、酒、鱼、小萝卜，他居然能生出喜怒哀乐和理想抱负。

——尼科斯·卡赞察基斯

我们到底会给21世纪的机器制造何种身体呢？不久之后，这个问题就会变为：这些机器会给自己制造一个什么样的身体呢？

让我们从最熟悉的人类身体说起吧，它同大脑一起经历了进化，所以人脑能对身体提供服务。从某种意义上讲，人的大脑与人的身体就是天作之合。

在未来，人体与人脑很有可能继续同步进化，相互关联更加紧密，并一起转变为新的形态和物质。上一章节中，我提到人脑向新型电脑机制的完全敞开不会立刻实现，我们仍需要慢慢建立并加强人脑与机器智能之间的连接，直至最终将人脑最精华的部分完整转移至更强大、更可靠的新型机器中。如果我们觉得这一概念很难接受，那多半是因为“机器”这个字眼横亘在中间。没关系，只要牢记我们对“机器”这个词的认知会随着思维的演化而改变，一切都会迎刃而解。

不同于人脑心智转移取得的微小进展，身体的转移技术已相当成熟——采用钛制结构代替下颚、头骨和臀部；人造皮肤和人造心脏瓣膜的运用；用人造血管代替静脉和动脉，并用可伸缩支架加固原有的脆弱血管；假肢和脊柱植入器的运用；下颚关节、腰臀部位、肩膀、肘关节、膝关节及手指脚趾等部位的人造关节的应用。此外，我们还拥有植入式膀胱控制器；还采用人造材料或将新型材料与培养细胞结合，制造一种机器代替肝脏和胰腺等器官。我们还能制造出装有微型泵刺激勃起的人工阴茎，牙齿和乳房的再造也早已不在话下。

然而，用人造材料彻底重建我们的身体这一理念并不是那么吸引人，即使重建在某些方面能改善身体机制，我们还是更喜欢原有皮肤的润滑，喜欢原有身体的灵巧和温热。这种温度并非能直接感受到的体表温度，而是深入心底，从心脏活生生的细胞中由内而外散发出来的温度。

所以，我们还是考虑从细胞层面改善身体吧，在这方面我们也已有所进展。我们已经记录下细胞基因密码的一部分，并开始着力破解其中的奥妙。不久的将来，人类有望设计出基因疗法，以改善细胞，纠正基因中的缺陷，如由胰岛素抵抗引起的Ⅱ型糖尿病和细胞自我复制失控导致的癌症。早期基因疗法是让患者感染上特殊的病毒，这些病毒中携带了具有纠正功能的DNA;后来，明尼苏达大学的克利福德·斯蒂尔（Clifford Steer）博士发明了一种更有效的方法，就是利用RNA分子直接将患者所需的DNA传送至体内。注在未来基因工程的细胞改善项目中，研究人员的首要研究内容便是抑制细胞的自杀基因。线状染色体末端存在一段名叫端粒的物质，细胞每分裂一次，它就会逐次变短一些；当端粒缩短至零时，细胞分裂便会终止，最终会自我毁灭。人类一直想要攻克疑难杂症、延缓衰老、打破人体的极限，所有这些都可以通过改变控制细胞的遗传密码实现。

但很遗憾，上述方法只能让我们进行到现在这一步。基于DNA存在的细胞依靠蛋白质生存。蛋白质的种类虽不计其数，却受到极大的限制。机器人研究领域的权威汉斯·莫拉维克（Hans Moravec）是率先意识到21世纪机器巨大潜力的研究者之一，他认为“蛋白质不是理想的材料，它只在小范围温度和压强中稳定存在，又对放射线极为敏感，还与许多建构技术和部件相斥……基因创造出的超人类只相当于一个二流的机器人，它有一个致命缺陷，即其建造只能依靠DNA主导的蛋白质完成。只有沙文主义者才会觉得它有优势”。注

但进化的观点并非毫无可取之处，以细胞为单位建造身体这一点便值得保留。采用此种方法可以保留我们身体的许多优势：提高机体可靠性的冗余；自我复制和修复能力；身体的柔嫩与温暖。但正如我们终将摒弃速度缓慢的神经细胞一样，我们最终也会被迫抛弃基于蛋白质的其他局限特质。要重造细胞，我们还得借助21世纪最重要的技术之一：纳米技术。

纳米技术：用原子重建世界

如果能从原子层面着手研究，那许多化学和生物的难题都会迎刃而解。我认为这种研究是大势所趋。

——理查德·费曼，1959年

假设有人声称自己有米开朗琪罗《大卫》雕像的复制品，大理石材质，在显微镜下观察也与原作一模一样。但当你慕名而去时，却看见屋里一座6米高的大理石块直挺挺地立着。而那个人却在一旁说："我还没来得及把包装拆了，但它就在里面。"

——道格拉斯·霍夫施塔特

纳米型迷你烤面包机和普通烤面包机相比有什么优势呢？首先，它占用的空间小了许多。其次，另一层不容忽视的哲学意义在于，一旦创造了世界上最小的烤面包机，这就意味着世界上最小的面包片也出现了。根据量子极限，我们一定会碰到极小的面包微粒，我们姑且称之为"面包丁"（croutons）吧。

——吉姆·切尔，《不可思议研究年鉴》（Annals of Improbable Research），马克·亚伯拉罕斯编

人类早期使用的工具都是现成的物体：用来刨土挖根的木棍，用来打开坚果的石头。我们的祖先经过上万年时间才发明了锋利的刀刃。而今我们制造的机器设计精湛，机理细致考究。但若从原子层面审视这些机器，我们的技术仍十分粗糙。施乐帕洛阿尔托研究中心纳米技术首席研究员拉尔夫·默克勒（Ralph Merkle）说道："铸、磨、碾、刻的过程都有原子的大规模移动。"他还认为目前的制造方法"就像戴着拳击手套搭积木，只能进行粗糙的宏观建造……在未来，纳米技术会帮助我们摆脱拳击手套，进行更细致的操作"。

纳米技术是建立在原子层面上的技术，是用一个个原子制造机器的技术。纳米（nano），是指10亿分之一米，长度相当于5个碳原子的直径之和。纳米技术的可行性已经得到了证实：地球上的生命体便能说明这一点。存在于人体细胞中的核糖体如同小型机器，负责有机体的建造，比如建造人类身体时，核糖体根据DNA中的电子密码模板，一次制造一个氨基酸分子。地球上的生命已经掌握了纳米技术的终极目标，即自我复制。

但如上所述，地球上的生命体中特殊分子的建造材料已被选定，所以其建造过程也受到限制。人类创造的计算技术最终会超越自然计算（电子回路已经比人类神经回路快了上百万倍）。同样，21世纪的物理技术也终将超越自然界以氨基酸为基础的纳米技术。

用原子制造机器的概念于1959年首次出现，美国物理学家理查德·费曼在加州理工学院一次题为“底部存在无限可能”（There’s Plenty of Room at the Bottom）的演讲中提出了这一想法，他也是首位提出“量子计算”概念的科学家。注 20年之后，美国纳米工程师埃里克·德雷克斯勒（Eric Drexler）在其著作《创造的发动机》（Engines of Creation）注中进一步深化了原子建造机器的想法。正是他的这本著作引发了20世纪90年代的人体冷冻运动，当时的人们企图将自己的大脑（连同身体或不带身体）冷冻起来，希望未来的分子技术能攻克他们的不治之症，并且大脑不会因冷冻和解冻受损。当然，未来一代是否有兴趣把这些大脑全部解冻又是另外一个问题了。

《创造的发动机》一书出版后，德雷克斯勒的观点遭到了人们的质疑，虽然当时马文·明斯基已同意担任其博士导师，但他在麻省理工学院根本找不到委员会负责他的博士论文答辩。德雷克斯勒的博士论文最终在1992年成书出版，名为《纳米系统：分子机器、制造与计算》（Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation），书中就其观点列出了强有力的证据，包括详细分析和

具体设计方案。[注]一年后，首届纳米技术研讨会举行，参会的仅有几十人。到第五届时（1997年12月），参会科学家达到350位，他们个个对自己的专业研究项目信心满满。据工业智库Nanothinc当时的估算，仅在1997年，微型机器、微细加工技术、纳米刻蚀、纳米级显微镜等纳米技术领域已产生了年均50亿美元的利润，并且这个数值还在逐年翻番增长。[注]

纳米管时代

微型机器的主要建造材料便是纳米管。虽然纳米管建立在微小的原子层面上，但其中碳原子的六边形结构非常牢固稳定。因发现足球烯获诺贝尔化学奖的美国化学家理查德·斯莫利说道：“有了纳米管，你可以随心所欲，它们绝对不会让你失望。”纳米管制造的汽车重量不过50磅[注]，却比钢铁材质的汽车坚固百倍。用纳米管建造的宇宙飞船可与美国航天飞机相媲美，重量却比一辆普通轿车还要轻。

与建造人体的脆弱氨基酸相比，纳米管还耐受高温。此外，纳米管的可塑性也很强，可以制成各种形状：线状、柱状、轮状，不一而足。由于纳米管的成分为碳原子，而自然界中碳资源丰富，所以也不用担心纳米管会供应不足。

我之前还说到纳米管可以用来做高效运算，所以21世纪的新型结构技术和计算技术极有可能都由纳米管制造而成。事实上，纳米管既可以用来建造实体结构，也可用作计算，所以未来纳米机器的大脑将分布在机器的各个部位。

纳米技术运用的典型案例虽未得到普及，但我们从中可以看到在原子层面进行工程建造的可行性。IBM公司就曾以单个原子为像素设计了公司商标。[注]全球最大的半导体公司之一得州仪器1996年制造了一

台带有50万面可移动反光镜的设备，仅有芯片大小，应用于小型高分辨投影仪中，1997年，该公司的纳米反射镜销售额高达一亿美元。

加州大学洛杉矶分校的何志明（Chih-Ming Ho）博士正在设计一种飞行器，其表面覆盖有微型翅翼，充当普通飞机翅翼控制气流的角色。施乐帕洛阿尔托研究中心的安德鲁·伯林（Andrew Berlin）正致力于研究在打印机中利用微型空气阀准确移动纸张。

康奈尔大学研究生、摇滚音乐家达斯廷·卡尔（Dustin Carr）制造了一把外形逼真的微型吉他，上面的琴弦直径仅有50微米。这把吉他可以正常演奏，但是人的手对于它来说太大了。此外，这把吉他琴弦每秒振动频率为1 000万赫兹，远远超出了人类可听到的声音频率20 000赫兹。注

自我复制的最高圣杯：微型手指和微型智力

微型手指象征着纳米技术领域的最高圣杯。有了微型手指和精细运算，纳米机器就能建立自己的小人国，并拥有缩小版的人类世界，包括环境复制的智慧和能力。因此，这些纳米机器也能自我复制，实现其专业领域的目标。

自我复制之所以如此重要，是因为一次建造一台微型机器成本极高，为了提高效率，我们必须生产上亿台纳米机器，而要低成本地实现此复制，唯有通过组合爆炸的方法，即机器的自我复制方可实现。

德雷克斯勒、默克勒（信息加密的主要方法——公共密钥加密的共同发明者）和其他研究学者已确切描述出如何建造能自我复制的纳米机器人。有趣的是，我们要给纳米机器人配备灵活的双臂和双手，让它可以制造自己的复制品。我们还需要给它自由活动的能力，让它

自行寻找原材料；需要给它一些智慧，让它能解决制造过程中的小问题，毕竟复制一个与自身一样复杂的机器人是有难度的。最重要的一点，就是让纳米机器人知道什么时候终止复制。

在现实世界中变形

在原子层面上建立起的自我复制机器可以改变我们生活的世界。他们能制造成本低廉的太阳能电池替代麻烦重重的化石燃料。由于太阳能电池需要大面积接触阳光、收集能量，我们可以把它们送上太空轨道，让它们将能量传递回地球。

纳米机器人进入人体血液后能强化原有的免疫系统，找到并摧毁病原体、癌细胞、动脉斑块和其他致病因子。从引发人体冷冻运动的想法来看，患病器官可以被重建。我们可以从分子层面部分或全部重建人体器官和系统。上一章节中我谈过有关人类神经运算功能的反向工程与模拟，同样，我们也可以反向建造并复制任何人类细胞的物理和化学作用机制。在此过程中，我们的分子建造材料在稳定性、强度、可承受温度等性质和能力方面将大大提升。

之后，通过重新设计并使用更多样、更稳定的材料建造细胞，人体内便能长出结构更结实、功能更强大的器官。日久之后，我们会发现一些对身体的重新设计在不同方面都发挥了作用。比如，如果人体内细胞不再受传统病原体的影响，那相应的免疫系统就失去了存在的意义。但是随着新型纳米病原体的出现，我们会需要其他纳米工程的免疫保护。

食品、衣物、钻戒和建筑都可按分子组装制造。我们可以随时随地创造出我们需要的任何商品，事实上，世界也在不断重组自己以满足我们日益变化的需求、愿望和梦想。但到了21世纪末，纳米技术能

在几秒内实现物体外观和其他特性的改变，如家具、建筑、衣物，甚至还有人类——它们或有可能完全变成另外一种物体。

这些技术都会慢慢出现、兴起（本书第三部分中我会尝试描画出纳米技术在21世纪每隔10年的进展变化）。在纳米技术的道路上，我们走下去的动机很明确。如果能选择，人们必然希望自己的骨骼坚实、肌肤细腻、生命系统坚不可摧。通过在心灵层面进行神经植入、在生理方面进行纳米加固，我们确能改善生命，因此，这项技术将越发普及和受欢迎。这将会是又一次滑坡谬误——显然没有什么能阻止这项进程，直至最终纳米材料大规模取代原有的大脑与身体。

未来明显存在的危险

如果纳米技术不能自我复制，那么它就不实用，可行性也不强。问题就出在这儿。如果软件中一个无心的失误导致自我复制无法终止，会发生什么？复制出的纳米机器人会远远超出我们的需求，而且它们会吞噬所有东西。

电影《变形怪体》（The Blob，有两个版本）叙述的便是纳米技术失控的场景。电影中的反派是一个能自我复制的智能体，以有机体为食物，十分贪婪。还记得我们讨论过纳米技术建立在以碳为基础的纳米管之上，所以变形怪物要从吃下的有机体中汲取碳分子，进行自我建造。不同于动物身上癌细胞扩散的速度，纳米机器的数量呈指数级增长，它们会吞噬任何以碳为基础的东西。要想追踪邪恶的纳米智能体就像大海捞针，根本无迹可寻。也有人提出了纳米级免疫技术：用优质的微型抗体机器追踪邪恶微型机器。当然，前提是这些纳米抗体的扩散速度与纳米机器人一样快。我们难以想象亿万个纳米机器人同时与抗体对抗时会产生何种毁灭性的结果。

既然已经提到了这种怪物，就让我细细谈一下它们的危害吧，但所谈危害不一定有说服力。我认为，在建造自我复制的纳米机器人之初就应扼杀其数量无限膨胀的可能性。作为一个软件开发者，我自己都对产品（包括我的竞争对手的产品）时不时地崩溃（但这种情况很少，产品崩溃通常是由操作系统的问题造成的）束手无策，所以深知要做到完全杜绝很难。软件开发中有一个概念叫“关键任务”应用程序，有许多应用程序是人们赖以控制某项进程的。这些典型的关键任务系统有医院里的生命维持系统、自动化手术设备、自动化飞行降落系统，还有其他许多以软件为基础的系统都影响着个人生活或机构运营的方方面面，我们在编写这些程序时可以大幅提高其可靠性。但是，当今复杂技术的运用有时也会对人类安全造成威胁。一家原子能工厂的爆炸会释放出致命化学元素钚，如果这种化学元素在人口稠密地区扩散的话，后果不堪设想。切尔诺贝利核电站的核反应堆核心熔毁，导致核辐射泄漏，但这类事故在几十年来的上百家核电工厂运营的情况下仅发生过两次，而且这两次事故原因都与俄罗斯车里雅宾斯克地区的核反应堆出故障有关。注全球有上万种核武器，我们从来没听说过哪个武器出故障爆炸的消息。

我承认上文论述并不充分，但我想说的是人们面临更大威胁是对纳米技术的恶意使用。一旦掌握了纳米技术，邪恶分子很快便会将其应用到战争和恐怖袭击中。这与当下自杀式的武器使用不同，人们可以对纳米武器进行编程，让它自我复制，以对抗敌人。例如，在某一特定地理范围内使用，核武器虽然毁灭性强，但其影响范围仅限于周边。所以，能进行自我复制的纳米技术将比核武器更具威胁性。

虚拟身体

我们并不总是需要真实的身体。如果身在虚拟环境，那虚拟身体就能满足需求。虚拟现实的概念产生于电脑游戏，尤其是那些需要创

设模拟环境的游戏。此类游戏的鼻祖是《外层空间战争》（Space War）,20世纪60年代，一批早期人工智能研究者在等待进程缓慢的计算机工作时，为了消磨时间编写了这个游戏。注即使低分辨率的屏幕也能很好地显示合成太空环境，因为游戏中的星球和其他物体都只是发光的像素点。

电脑游戏和电子游戏的画面虽日趋逼真，但人们还是无法完全进入虚拟世界中，除非拥有丰富的想象力。因为，首先，你能看见屏幕的边框，其次，这些边框外的真实世界也仍在视野范围内，与虚拟世界形成了对比。

所以，如果我们想进入一个新世界，就必须先摆脱当下的环境。20世纪90年代，第一代虚拟现实问世，只需戴上一顶特殊的头盔便可摆脱现有的视觉世界。虚拟现实之所以真实，关键在于随着头部的转动，其三维场景也会重新定位到一片新的视野，从而模拟现实世界中头部转动、视野变化的真实场景：视网膜捕捉的画面变化迅速，大脑认为世界是静止的，所以视网膜中画面闪过都是由于头部转动的缘故。

科技的第一代效果总是不尽如人意，虚拟现实也是如此。新场景的渲染需要大量计算，所以第一代的虚拟现实有画面滞后的问题。任何可察觉到的视觉滞后都会暗示大脑场景的非真实性，并且虚拟现实画面的分辨率也并不理想。还有一点就是，当时的虚拟现实头盔巨大笨重，戴着极不舒适。

解决画面滞后问题和提高分辨率需要的条件便是运行速度更快的电脑，我们也一直在努力。不远的将来，我们有望开发出高质量虚拟现实，其虚拟环境逼真，画面渲染及时，分辨率高，设备的佩戴也会更舒适，并且价格和电脑游戏软件一样。

高质量的虚拟现实主要满足了人们的两种感官——视觉和听觉。除此之外，皮肤也是很敏感的器官，所以虚拟现实技术也正在开发其中的触觉界面，微软公司开发的力量反馈游戏手柄就是一个很好的例子。20世纪80年代，力量反馈型游戏手柄由麻省理工学院媒介实验室研制，它的特点便是在游戏中添加一些触觉上的真实感，比如赛车游戏中感受到路面的颠簸，钓鱼游戏中模拟收线的感觉。

20世纪末出现了“触觉鼠标”，它的操作与普通鼠标相同，但在使用时，用户可以体验到触摸物体表面、物体甚至是人的感觉。我加入的医学培训公司正在开发模拟病人技术，以辅助医生的培训，同时还能让外行体验当医生的感觉。模拟病人中包含一个触觉界面，你可以真实感受到膝关节骨折或是乳房肿块。[注]

触感领域的力量反馈型游戏手柄相当于视觉领域的传统监控器，它为人们提供了触摸界面，但无法让人完全进入虚拟世界，也就是说，身体的其他部位仍能感受来自真实世界的触感。所以想要完全摆脱真实世界，我们必须设法模拟一个虚拟的触摸环境全权掌控触觉。

所以我们必须创设一个虚拟触觉环境，这类场景在科幻电影中经常出现（这些场景总能为创造发明提供思路）。首先，我们可以制作一套衣服，这套衣服不仅可以检测你的一举一动，还能提供高分辨率的触觉体验。当你在虚拟世界中触碰到障碍物时，这套衣服还需要为你提供力量反馈，从而阻止你的行动。比如，你想给虚拟同伴一个拥抱，你当然不愿意看到自己直接穿过对方的身体。虽然衣服本身也可以抗拒障碍物，但仍需要在其外部配备力量反馈装置。此外，虽然穿着衣服，但你的身体仍处于现实世界中，所以最好把这整套奇特的装置都放在一个小隔间里，这样一来，在虚拟世界活动的你就不会碰到现实世界中的物体和人。这套衣服还可以对温度做出反应，从而实现潮湿表面触感的模拟，甚至可以模拟手放到水里的感觉，这一系列触感可以通过温度和体表压强的改变来实现。我们还需要提供一个站立

（或坐着，或躺着）的旋转平台，以实现在现实世界中任何方向的自由活动。

有了这套衣服及其外部装置、活动隔间、活动平台、眼镜和耳机，我们就能实现感官的全方位掌控。当然，我们还需要高质量的虚拟现实软件。随着硬件设备的日益提升，越来越多的画面更逼真、场景更丰富的虚拟现实软件也会出现，此领域的竞争也会越发激烈。

虚拟现实中当然还少不了嗅觉。第四种感官界面的实现需要另一种更加先进的纳米技术，它能将监测嗅觉的各种分子模拟整合在一起。同时，我们可以在虚拟现实的隔间中散发所需气味以实现虚拟嗅觉。

一旦进入虚拟现实，我们的身体——至少虚拟身体可以变成自己想要的样子，邪恶的恶魔或者其他任何形象，不管现实生活中是否存在，只要是能与虚拟世界中的其他生物互动交流的形象都可。

在虚拟现实中，你并非唯一的存在体，你可以和朋友互动（他可能身处另一个虚拟现实隔间中，并且和你现实相隔很远）。当然，你也可以选择不同的虚拟同伴。

直接连通虚拟世界

到21世纪后半叶，神经植入技术普及后，虚拟环境的创设与体验将不再受限于虚拟现实隔间。神经植入芯片会提供虚拟环境中模拟感官体验，包括虚拟身体在内的信息都会直接传输进大脑。所以，你的动作并不会驱动现实世界中的身体，而会影响虚拟身体的活动。虚拟环境中也有不同形态的身体可供选择。所有这些都会让你的虚拟现实体验宛如身临真实世界，更加逼真。越来越多的人都会进入虚拟环

境，我们也会遇到其他真实或虚拟的人——这两种最终将趋于同一，与他们互动交流。

到21世纪后半叶，虚拟现实将成为网络的主体。虚拟环境将摆脱额外硬件的束缚，转而依托于专门的网站。你只需要通过大脑思维访问该网站就能进入虚拟现实世界。我们可以在历史社会网站上与本杰明·富兰克林就战争问题上的权力展开辩论，在瑞士商会网站上去阿尔卑斯山滑雪，感受寒冷的雪花飘落到脸上，在哥伦比亚影片公司网站上与你最爱的影星拥抱，在Penthouse或Playgirl㊟杂志网站上结交密友，当然这需要支付一些费用。

真正的虚拟现实

到21世纪后半叶，通过纳米技术“群集”的途径，真实世界将呈现许多虚拟世界的特点。例如，罗格斯大学的计算机科学家J·斯托尔斯·霍尔（J.Storrs-Hall）提出的“实用雾”（Utility Fog）概念，㊟其中最基本的单位为一个小型机器人，称为Foglet，它由人体细胞大小的设备组成，外部有12条指向各个方向的手臂，每条手臂的末端都有抓手，能互相抓着形成更大的结构。这些纳米机器人十分智能，它们能将各自的运算能力融合起来，创造一个分散型智能体。一个充满了Foglet机器人的空间便称为“实用雾”，具有非常有趣的特性。

首先，实用雾会大费周折地模拟自己不在场的状态。霍尔对此做了详细描述，人们走进一间布满了上亿个Foglet机器人的屋子，但他什么都看不见。当有想法时（至于是谁的想法还不明确），Foglet可迅速制造出各种结构并模拟出想要的环境。正如霍尔所说：“雾城可以是一个公园，或一片森林，甚至可以是古罗马的某一个场景，转天又变成了一座翡翠城。”

Foglet机器人可以创造任意波锋向任意方向发散光波和声波，从而营造出各种虚拟视觉和听觉环境。它们也可以生成任何形式的压力，创造多样的触觉环境。如此一来，虽处于现实世界，但实用雾却拥有所有虚拟环境的灵活性。实用雾的分散型智能可以模拟系统扫描过的（霍尔称其为“上传的”）人类，而这些人的大脑就是在实用雾中重新造出的“雾人”的大脑。霍尔推测：“实体的人类可以穿过实用雾中的墙，而实用雾人不仅能穿过实用雾墙，还可以穿过现实中的铜墙铁壁。”

实用雾涉及的并非先进的物理技术，Foglet机器人也要比大部分纳米机器人要大。运行实用雾对软件要求更高，但最终也可实现。霍尔需要改进的是市场销售方面的问题：实用雾这个名字听起来太死板了，与其丰富多样的性质完全不符。

在纳米技术群集中，真实环境由互相关联的纳米机器建造而成。许多人都对纳米群集提出了设想和概念论述，虽内容各有不同，但他们有一个共识：现实世界会向虚拟世界靠拢。入睡时你还处在卧室，醒来时周围的环境就已变成了厨房。实际上，有了纳米群集后根本不需要厨房，可直接变为餐厅，因为相关的纳米技术可以立即提供你想要的食物。用完餐，你又可以变换进书房，或者游戏房、游泳池、红木森林，甚至是泰姬陵，一切都由你的意志决定。

马克·伊姆（Mark Yim）已建成了小群集的大模型，证明了群集互动的可行性。[注]约瑟夫·迈克尔（Joseph Michael）的纳米技术群集概念已经获得了英国的专利，但他的设计在20年专利权期间不太可能产生商业价值。[注]

我们似乎拥有太多的选择。出门时，我们只需选择穿什么、带什么、去哪儿。但到21世纪后半叶，我们需要选择的是身体的样子、性

格特征、身处环境，要做太多复杂的决定！但不必担心，到时会有智能群集机器辅助我们。

感官满足机器

他那虚幻的肉体，

欲火难耐，

不禁发出了女人的呻吟。

——巴里·斯帕克斯，《十七岁的孤寂》（The Solitary at Seventeen）

我假设金钱和雄性激素是新技术发展的动力，从而预测未来。因此，当虚拟现实比现实约会省钱时，社会就完了。

——狗伯特[注]

古腾堡（Gutenberg）发明了西方活字印刷机，自第一本活字印刷的书《圣经》印出后，接下来的100年中，这项划时代的发明却在色情图书领域广泛使用。[注]新型交流技术——电话、动画、电视、录影带，也迅速转向色情市场。互联网也不例外——据弗雷斯特研究公司估测，1998年在线成人娱乐市值可达1.85亿美元，“交互周刊”公司（Inter@ctive Week）则估测为10亿美元。这些收益来自以男性居多的客户，他们通过在线付费收看表演或与表演者互动，这些表演有的是直播，有的是录像，或者模拟制作的。有人估算，1998年有28 000个网站提供色情娱乐服务，[注]这其中还不包括电话和在线视频通话的色情服务。

只读光盘和DVD光盘又是另一个被色情行业大量使用的技术。虽然大部分成人影像光盘只用作影片传播，只有少部分包含互动，然而有一种新型的CD和DVD光盘可提供虚拟性伴侣，它们可对鼠标点击做出反应。[注]正如大部分第一代技术一样，此种虚拟伴侣的模拟效果并不理想，但是，未来技术虽无法完全摆脱问题，但必会解决其中的部分缺陷。开发者们还在致力于开发力量反馈型鼠标，从而形成对虚拟伴侣的触感。

到21世纪第一个10年，虚拟现实能实现你与伴侣——浪漫约会对象、性工作者或是模拟伴侣的视觉和听觉的真实感。你可与你的伴侣做任何想做的事情，除了互相触摸，这实在是个非常大的漏洞。

虚拟触摸技术已处于开发状态，但仍不成熟。高度真实的视觉、听觉、触觉三位一体的虚拟环境发展至21世纪的第二个10年将会较为完善。到那时，虚拟性伴侣将成为对现实性伴侣的一个极大挑战。情侣们可以进行虚拟性行为而免受距离远近的困扰。即使是近在眼前，虚拟性行为也比真实性行为更具优势，其中一点就是更为安全。比起现实生活，虚拟性行为还能提供更刺激、更舒适的感官体验，以及现在无法体会到的生理体验。虚拟性行为也具有极高的安全性，因为没有意外怀孕或疾病传播的风险。

现在，情侣们需要借助想象力幻想自己的另一半，而虚拟性交流的使用者则不需要那么丰富的想象力。你可以同时改变自己和伴侣的身体形态和性格特征，可以将你的伴侣模拟成你最喜爱的明星，并且不用征得对方的同意。当然，有可能你的伴侣也在对你进行同样的操作。

集体性行为也将重新定义：多个人可以同时共享一个性伴侣。多个真人不可能同时操控一个虚拟身体的动作，所以必须有一种决策分享的途径来确定虚拟身体的动作。同一个虚拟身体的共享者将会有相

同的视觉、听觉和触觉体验，并共同操控这个共享的身体（也有可能同一个身体上汇集了共享者所有的想法）。许多观众——即使在现实中相隔很远，也可以同时与同一个表演者的虚拟身体发生性行为。

虚拟性行为不会造成任何风险，通过无线宽带交流技术，性工作者与其顾客在家便可实现性交易。虚拟性行为也可能合法化，至少会比当下现实生活中的色情服务更普及，因为人们难以对虚拟世界进行监控。排除了疾病和暴力因素后，色情服务的禁令也会逐渐放宽。

性工作者也会遭遇来自电脑模拟性伴侣的竞争压力。模拟性伴侣模式的发展初期仍不成熟，在真实性方面仍比不过现实生活中的性工作者，然而这种情况会随着时间流逝发生改变。当然，一旦模拟的虚拟性伴侣能同真人一样有能力、有情感、有反应，那这位虚拟伴侣和真实的人类又有何分别呢？

有可能发生虚拟强奸吗？就生理意义上来说不可能发生。虚拟现实可以让用户随时停止体验。但如果是情感或其他方面的诱导和施压就另当别论了。

如此广泛的性选择和性机遇会对婚姻制度和伴侣忠贞度带来怎样的影响呢？虚拟性行为技术催生了一系列滑坡谬误，一夫一妻制的概念也逐渐被淡化。一些人认为，这种只需点击神经按钮便可体验刺激性行为的方式会破坏情侣之间的忠贞度，其他色情娱乐和服务的支持者则认为性行为是健康的发泄，可以维持稳定的伴侣关系，但这就需要情侣之间互相理解，随着这项技术的发展，隐私保护越来越严密，界线的划分也会愈发困难。在未来，由于停止虚拟活动更加容易（虽然不总是如此），一些现实社会生活中无法容忍的做法和活动将在虚拟平台进行。

除了直接的感官和性交流，虚拟现实中也可进行普通的恋爱活动。携手伴侣漫步在虚拟的法国香榭丽舍大街，或沿墨西哥坎昆海滩

散步，或与野生动物一起出没于莫桑比克野生动物保护区。所有约会都可在网络上进行。

到了21世纪，利用外部视觉——听觉——触觉一体界面的虚拟现实不再是唯一改变性行为的技术。性机器人将在21世纪的第三个10年内风靡起来，虽然现在看来和机器人或人偶发生性关系并不吸引人，因为它们太不真实了，然而一旦为机器人配备与人类相同的嫩滑皮肤、智力、灵活性和激情，我们的观念就会改变了。（到21世纪末，人类与机器人之间将无明显差别。利用纳米和运算技术改良自己身体的人类，和获得优于人类的智能和感官的机器人，这两者还能有何不同之处呢？）

到21世纪的第四个10年，我们将实现通过内部神经植入进行虚拟体验，从而能随时随地与任何一个人（不管是虚拟的还是真实的）进行所有形式的性体验。这就和当下的在线聊天室一样，只是你不再需要将其他设备植入大脑，并且可以做的事也不仅是聊天。有了虚拟身体，你和伴侣的互动不再受任何限制。我们也能接触更多新式的体验：男人可以体验做女人的感觉，反之亦然。实际上，你可以体验男女性别共存的感觉，让我们的幻想变为现实，至少是虚拟现实。

当然，21世纪后半叶会出现纳米机器人群集——比如极具诱惑的实用雾，它们能立即呈现并模拟出任何你想要的形式、相貌、智力和性格，比如你希望它呈现人类形态，它都能立即实现。

心灵机器

我们不是追求灵魂深度的人类，而是追求人类形式的灵魂。

——杰奎琳·斯莫尔

身体和灵魂是对双胞胎，只有上帝才能分清谁是谁。

——查尔斯·A·斯温伯恩

所有人都陷在黑暗的阴沟中，但有些人会仰望星空。

——奥斯卡·王尔德

性和灵魂是我们脱离现实生活的两种方式。实际上，正如与多种精神体验相联系的刺激性节奏运动一样，性也与精神情感密切相关。

心灵触发点

我们发现，原本以为只可从现实生活中的身体或心灵处获得的经验，现在都可通过直接刺激大脑获得。比如幽默感，美国洛杉矶大学神经外科医生伊扎克·弗里德（Itzhak Fried）和他的同事在《自然》杂志上发表了一篇文章，谈到他们找到了幽默感的神经触发点。当时他们正在为一个患有癫痫的小女孩寻找病因，偶然发现电探头触碰到其大脑辅助运动区的某一点时，她便会笑起来。起初他们以为这只是运动性抽搐的反应，但很快他们意识到并非如此，而是因为他们触发了幽默感知区，小女孩的笑声是自然发出的。只要刺激小女孩大脑中的特定位置，她就会觉得一切都很好笑。“你们光站在那儿就很好笑。”这是她的典型反应。(注)

在不好笑的情况下触发幽默感知区会略显尴尬（虽然我个人觉得这本身就很好笑）。幽默通常与意料之外的因素有关。“蓝象”，这两个字或许会让人惊讶，但不会令人发笑（也有可能你会被逗笑）。除了令人惊讶的成分，令人意想不到的事还应包括值得人记住的特性。幽默之所以能令人发笑是因为它还包括其他的因素，但我们还未完全参透。大脑中明显有探测和感知幽默的神经网络。如果我们直接

刺激大脑的幽默探测器，即使是稀松平常的场景也会让我们捧腹大笑。

刺激幽默点的方法对于性的感知同样适用。我们曾在动物身上做过实验，发现不管是雄性还是雌性动物，只要向其下丘脑中一小部分区域注射睾丸素，就能刺激它的雌性反应，向下丘脑另一特定区域注射就能刺激其雄性反应。

从该实验中我们不难推断，一旦神经植入普及，我们不仅能营造虚拟感官体验，还能模拟出这些体验产生的情感，甚至能创造出与体验本身毫无关联的情感。如果你愿意的话，我们可以给性体验添加幽默感（当然，对一些人来说，这种幽默已经存在）。

到21世纪后半叶，技术已不会仅局限于神经植入，我们对情感的操控和再编程将更加娴熟，届时我们也能将思考过程全数导入一种新型运算媒介中，这就意味着我们变成了软件。

我们费尽心思想要获得幽默、愉悦和幸福感。如果能随心所欲地激发这些情感，似乎就剥夺了它们存在的意义。当然，许多人会通过吸食毒品寻求精神上的刺激。但有了神经植入技术，我们不用买醉便能获得情感上的愉悦和满足。然而神经植入技术的滥用危害绝不亚于吸食毒品。心理学家詹姆斯·奥尔兹（James Olds）曾教会一只老鼠按按钮，并直接刺激其大脑边缘系统中的兴奋区域，结果老鼠一经刺激便无法停止，以每小时5 000次的频率按压按钮，其他什么都不干，直到最后他们困了才停下。注

然而，神经植入技术带来的好处仍十分诱人。举例来说，许多人因生理障碍无法充分体验性行为带来的刺激感。然而有了神经植入技术，人们便可克服这种生理障碍，或者能够进行其他目的的活动。一旦此类技术发展成熟并用作克服残疾障碍，我们将没有理由也不会愿

意禁止此项技术用于加强人类已有的能力。人类情感控制能力又将成为另一项21世纪的滑坡谬误。

心灵体验是什么？

心灵体验即超越现实生活和躯体感受到更深层次现实的感觉，这在各种完全不同的宗教和哲学信仰中有重要地位。心灵体验类型并不完全相同，但包罗万象，涵盖了各种精神现象，它可以是浸会教徒布道会上狂热的舞蹈，也可以是佛教僧徒的超脱冥想。心灵体验是历史发展中永恒的话题，并且是文化和宗教花园中永远的奇葩。

不管心灵体验的性质和演变如何复杂，不管是心灵体验还是其他形式，只要利用运算过程对其进行解析，我们就能从神经层面理解其内部联系。一旦掌握了精神过程，我们自然而然地可以模拟智力、情感和心灵体验，随心所欲地控制它们，适时巩固这些体验。

通过大脑生成音乐进行心灵体验

我们已有一种技术能实现至少一方面的心灵体验。这项实验性技术称为“大脑生成音乐”（Brain Generated Music,BGM），由美国马里兰州巴尔的摩一家名叫NeuroSonics的小公司领导开发，我是该公司董事之一。大脑生成音乐是一种脑电波生物反馈系统，能激起一种叫“松弛反应”的深度放松体验。(注)大脑生成音乐的用户先将三条一次性导线一端连在大脑上，另一端连接个人电脑，通过监控脑电波确定其特有的α波波长。频率在8~13赫兹的α波通常在深度冥想时出现，而频率为13~28赫兹的β波通常与常规意识有关。在大脑内，某种运算方法将用户的脑电波信号进行转换，从而在与人脑连接的电脑上生成音乐。

大脑生成音乐算法的设计目的在于激发α波的生成，当探测到α波时，便能生成和谐动听的音乐组合，α波信号微弱时产生的声音便不那么悦耳了。此外，由于声音是根据用户自己的α脑电波合成的，所以声波会与α波产生共鸣，进一步激发α波的生成。

曾为波士顿贝斯以色列医院高血压科主任、现于新英格兰女执事医院工作的赫伯特·本森（Herbert Benson）博士以及哈佛医学院和贝斯以色列医院的其他研究人员发现了松弛反应的神经——生理机制，并将此种机制描述为“战或逃”的对立面，或者叫“压力反应”。[注]松弛反应与肾上腺素、去甲肾上腺素、血压、血糖、呼吸和心率的水平降低有关，定期触发松弛反应可以保持血压（仅限于由紧张因素引起的高血压）和呼吸系统的长期稳定。本森博士和他的同事们还列出了一些触发松弛反应的技巧性方法，其中包括瑜伽和冥想。

我曾尝试过冥想的方法，也亲身体验并观察他人利用大脑生成音乐引导的过程，事实证明，大脑生成音乐确实可以激起松弛反应，其中的音乐好似从内心深处自然流露一般。有趣的是，如果不和电脑连接，你在倾听自己的大脑生成音乐时就无法感受到超然的感觉。因为即使这段音乐是由你个人的α脑电波而来，但合成它的脑电波是你初次生成音乐时产生的脑电波，而非你听录音时产生的脑电波，只有“现场”的大脑生成音乐才能产生共鸣。

传统的音乐体验通常是被动的。即使听众会对演奏者产生细微影响，但其演奏的音乐并不是听众的反应。大脑生成音乐是一种全新的音乐形式，能将音乐不断演变为一种听众心灵反应与其本身的互动。

那么我们能否说大脑生成音乐就能提供心灵体验呢？答案并不确定，因为体验此种音乐时产生的感觉有时和冥想时的超脱感十分相似，而且通常冥想产生的超然似乎比大脑生成音乐引出的感觉更为真实可信。

“神点”

美国加州大学圣地亚哥分校的神经学家发现了所谓的“上帝分子”，它位于大脑额叶中神经元的一个小区域，会在宗教活动体验时被激发。他们在研究癫痫病者的发病状况时观察到一种奇怪的剧烈活动，以此发现了“神点”的神经机制。很显然，发病时的剧烈神经活动刺激了“上帝分子”。科学家们利用高度灵敏的皮肤检测器追踪大脑皮层的电流活动，发现发病时的大脑反应与正常人进行宗教心灵体验时的脑电波极其相似。

以神经为基础的心灵体验说早在之前就被进化生物学家提出，以达到利用宗教信仰团结社会的目的。牛津大主教理查德·哈里斯（Richard Harris）对圣地亚哥分校的研究回应道：“这没什么好惊讶的，上帝在创造我们的时候就已经给予了我们产生信仰的生理设备。”注

当我们确定了控制人类心灵体验的神经的相关连接，我们就可能进一步提升这些体验。进化的下一阶段创造出的人类将比现在要复杂和聪慧上亿倍，人类的心灵体验和洞察能力也会更有广度和深度。

正是存在于世——有体验、有意识，才有心灵而言，这也是心灵的本质。机器由人类思维演变而来，却在体验能力方面超过了人类，因此它们也可以被认为是有意识、有心灵的，至少机器们自己对这点深信不疑，认为它们也经历过有意义的心灵体验。如果考虑人类长久以来将现象人格化的倾向，并且假设机器的理由很充分，我们或许真的会相信机器的话语。

21世纪的机器以人类思维为基础设计，将能做人类做过的事情——在真实或虚拟的房子里做礼拜、冥想、祈祷、超脱，进入其心灵思想的维度。

让我们先讨论这个问题：我是绝不会和一台电脑进行床榻之事的。

可别这么早下结论。你要有一个开放的心态。

我会试着开放些，但身体和心态不同。不管机器再怎么智能，和它发生亲密关系听着并不那么诱人。

你和电话聊过天吗？

和电话聊天？我只通过电话和别人聊天。

好，将来电脑是一台视觉、听觉、触觉三位一体的虚拟现实交流设备，是专为你和你的性伴侣设计的，而且你们可以进行的不只是交谈。

如果有伴侣的话，我很享受和他煲电话粥，能视频通话或利用全景虚拟现实进行交流似乎也是个不错的选择。至于你说的触摸，我还是更喜欢面对面触摸到的实感。

你可以在虚拟现实中使用真实的手指，或者逼真的虚拟手指。试想，如果你和伴侣分居两地该怎么办？

距离产生美，我们不需要一直在一起。我是说他可以在家带孩子，一切等我出差回来再解决。

如果虚拟现实发展成熟，将可以提供全方位真实的触觉，你还会千方百计地避免身体接触吗？

我想睡前吻别一下应该没什么问题。

哈哈——出现滑坡谬误了！为什么就此打住了呢？

好吧，两下。

当然没问题，就像我说的，要保持开放的心态。

说到开放心态，你描述的“神点”似乎是要将心灵体验普通化平凡化。

对于这项研究我不多做评论。但是心灵体验过程中人脑中很明显有什么东西在发挥作用。不管其中的神经活动过程如何，只要掌握了其中的奥妙，我们就能用新型运算介质重新制造一个大脑提升我们的心灵体验。

这么说来，这些重造的大脑能报告心灵体验，而且我想它们应该也会以一种超验、狂热的方式进行报告，就和人们在叙述心灵体验时的感觉一样。那么，这些机器真的能超越世俗、感受到上帝的存在吗?

我们总是要回过头讨论意识的问题。21世纪机器报告的范围与人类体验范围一致。但根据加速回报定律，它们可报告的范围很快便会超出人类体验范围，并且报告的体验内容非常真实可信。至于它们自身到底是什么感觉，我之前说过，我们无法完全透彻地解析另一个实体的主观体验，至少科学上行不通。也就是说，我们可以观察神经传递的模式等等，因为这些都是客观的现象。

这就是科学的局限性。

没错，此时，哲学和宗教就派上用场了。当然，科学问题上要达成一致也是相当困难的。

通常就是这样。现在，我有另一个担忧的问题，就是这些侵略式纳米机器人会无限复制，永不停止，到时，它们的数量如此庞大，一

旦它们把我们吃光，就会开始互相残杀了。

这确实很危险。但如果我们编写程序时更小心……

确实可以，就如编写我的运行程序一样。已经有一些小型软件病毒在我体内，它们会自我复制，直至占领全部的硬盘空间。

我认为更危险的是它们被意图不轨的人利用。

我记得你说过这点，这确实令人担忧。我们为什么还要继续发展这些纳米机器人呢？

让我们想想这些：一位老妇人的骨折可以通过纳米技术辅助的治疗而痊愈，一位癌症患者的癌细胞可以通过血管中流动的纳米机器人被杀死。

这确实能带来可观的益处，但你所举的例子通过生物工程等传统技术也可以解决。

你终于提到了生物工程，因为生物工程武器中存在的问题与纳米技术非常相似。事实上，在一家研究所正在进行的生物科技项目中，他们具备的知识和设备就快能创造出可以自我复制的病原体。不同于纳米工程武器在任何环境中的自我复制，生物工程武器只能在活物中自我复制，人体就是其最好的环境。这听上去并不舒服，所以不管是哪种工程，其中难以控制的自我复制都是个巨大的威胁。

但我们也不会停止生物工程的研究，这是医药研究领域的前沿科技，并且在治疗艾滋病中有所成效，糖尿病人得益于生物工程合成的人工胰岛素，还有能有效降低胆固醇的药物，将来还有望出现治疗癌症的方法，生物工程正在飞速发展。一些持怀疑态度的科学家也开始相信生物工程能在癌症和其他致命疾病的治疗中起到突破性进展。

那么我们该如何保护自己免受生物工程武器的危害呢？

进一步完善生物工程，如研究抗病毒药物。

那纳米工程武器呢？

同理，完善纳米技术。

我希望好的纳米机器人能取得优势，但如何区分好与坏又是个问题。

好与坏确实很难分辨，尤其要分辨这些体积细微的纳米机器人。

除了通过其他纳米机器人，对吗？

你说对了。

---

1. 1磅≈0.45千克。——编者注
2. Penthouse和Playgirl都是成人杂志。——编者注
3. 狗伯特是漫画《呆伯特》中的主角。《呆伯特》是一部由作者自身办公室经验以及读者来信为本的讽刺职场现实的作品。——编者注
4. 美国哲学家修伯特·德雷福斯对人工智能的批判见其著作What Computers Can’t Do: The Limits of Artificial Intelligenc（New York: Harper and Row, 1979）.其他支持机器智能超越人类智能的理论学家有J. R. Lucas和John Searle，详见J. R. Lucas,“Minds, Machines and Godel”,Philosophy36（1961）: 120－124，和John Searle,“Mind, Brains, and Programs,”The Behavioral and Brain Sciences 3 （1980）: 417－424，以及Searle的新作The Rediscovery of the Mind （Cambridge, MA: MIT Press, 1992）.
5. “明尼苏达大学医学院Clifford Steer博士领导的研究小组在最新一期的《自然医学》杂志上刊登了一篇报告，说明他们已通过控制身体自身的基因修复过程成功消灭了病毒。在一次标志性的实验中，该研究小组成功在小白鼠体内永久性改变了40%的肝细胞血块凝固基因。他们首先将DNA片段分解成RNA，之后用保护套裹住合成分子，并用糖分子包扎牢固，之后注射进小白鼠体内。如预期那般，合成分子成功插入目标基因队列，并成为其中的一部分。剩下的工作就交给小白鼠体内肝细胞的酶：当发现DNA中

的错误匹配部分，这种酶会直接剔除入侵的DNA，然后产生正确的替代物。现在的问题只有一个了，就是这种方法是否适用于其他身体组织，或者在其他物种内是否奏效。”摘自“DNA Therapy: The New, Virus－Free Way to Make Genetic Repairs.” Time, March 16,1998.

6. Hans Moravec,Mind Children: The Future of Robot and Human Intelligence （Cambridge, MA:Harvard University Press, 1988）, p. 108.

7. 费曼1959年12月29日在California Institute of Technology （CalTech）的American Physical Society年会上提出了这些观点，他演讲的内容之后被刊登在CalTech的Engineering and Science 1960年2月刊上。

8. Eric Drexler,Engines of Creation （ New York: Anchor Press/Doubleday, 1986）.

9. Eric Drexler,Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation（New York: John Wiley and Sons, 1992）.

10. “纳米技术，广义来说包括各种纳米级别相关的活动和规则，现在全球有300多家公司在开发此项技术，其收益超过50亿美元，在未来4年里的收益将达240亿美元。” Nanothinc包含一系列公司和收益数据，这一数字便是在此基础上得出的。一些收益较好的纳米应用技术包括微型机器、微型电子机械系统、自动加工、纳米平版印刷、纳米技术工具、扫描探针显微技术、软件、纳米材料和纳米相材料。

11. 了解更多纳米技术在IBM公司标志中的应用，可参读Faye Flam,“Tiny Instrument Has Big Implications.”Knight－Ridder/Tribute News Service, August 11,1997, p. 811K7204.

12. 了解更多关于Xerox的纳米技术研究，可参考Brian Santo,“Smart Matter Program Embeds Intelligence by Combining Sensing, Actuation, Computation-i-Xerox Builds on Sensor Theory for Smart Materials.” EETimes（March 23, 1998）:129.

13. 了解更多纳米技术在纳米吉他制造中的应用，可参读Faye Flam,“Tiny Instrument Has Big Implications.”Knight-Ridder/Tribune News Service.

14. 欲了解更多Space War的故事，参读“A History of Computer Games”,Computer Gaming World（November 1991）: 16－26，和Eric S. Raymond, ed.,New Hacker’s Dictionary （Cambridge, MA: MIT Press, 1992）.该游戏由Steve Russell在1961年设计开发，并于一年之后在PDP-1运行。

15. Medical Learning Company公司是American Board of Family Practice（认证美国6万家庭医生的机构）和Kurzweil Technologies合办的合资企业。该公司目的在于为医生的医学继续教育开发教育软件，这项技术的关键在于创造可互动式模拟病人，以供医生进行模拟诊治。

16. “实用雾”的概念描述见J. Storrs Hall,“Utility Fog Part 1,”Extropy, issue no. 13 （vol. 6, no. 2）, third quarter 1994;J. Storrs Hall, “Utility Fog Part 2,”Extropy, issue no. 14 （vol. 7, no. 1）, first quarter 1995;Jim Wilson,“Shrinking Micromachines: A New Generation of Tools Will Make MoleculeSize Machines a Reality.”Popular Mechanics 174, no. 11 （November 1997）: 55－58.

17. Mark Yim,“Locomotion with a Unit-Modular Reconfigurable Robot”, Stanford University Technical Report STAN-CS-TR-95-1536.

18. Joseph Michael, UK Patent #94004227.2.

19. 更多早期相关出版物，参见A History of Erotic Literature by Patrick J. Kearney （Hong Kong, 1982）和History Laid Bare by Richard Zachs （New York: HarperCollins, 1994）.

20. Upside Magazine, April 1998.

21. 例如，Pixis的TFUI （Touch-and-Feel User Interface）软件就在其Diva and Space Sirens series of CD-ROMs产品中有所应用。

22. 摘自“Who Needs Jokes? Brain Has a Ticklish Spot,”Malcolme W. Browne,New York Times, March 10, 1998,和I. Fried （with C. L. Wilson, K. A. MacDonald, and E. J. Behnke）,“Electric Current Stimulates Laughter,”Scientific Correspondence 391:650,1998.

23. K. Blum et al.,“Reward Deficiency Syndrome,”; American Scientist, March-April, 1996.

24. 大脑生成音乐软件是NeuroSonics公司的注册技术项目，该公司位于美国马里兰州巴尔的摩，其创始人、CEO兼主要技术开发人员是Geoff Wright博士，他也是Peabody Conservatory研究计算机音乐的领头人。

25. 了解更多有关本森博士的科研工作，可参考其著作The Relaxation Response （New York:Avon, 1990）.

26. “‘God Spot’Is Found in Brain,”Sunday Times （Britain）, November 2,1997.

第八章
写诗、谱曲、绘画：一台机器的创造天赋



信息数字化可能是20世纪最令人惊叹的发展。

——王安

几个世纪以来，经济学、社会学、地缘政治学、艺术、宗教等都为人们提供了强有力的工具，来揭示生命最本质而又最浅显的奥秘。对很多观察者而言，太阳之下似乎再无新生事物——无须再深入了解人类的新工具，没必要为了理解这个世界而进入现代电子的微观世界。我们对这个世界已经足够了解。

——乔治·吉尔德

20世纪60年代至世纪末这近40年的时间里，我们从手动控制生活和文明的方法，过渡到完全依赖计算机连续运作的状态，对于我们现在仍然对“插座”拥有绝对的控制权这一点，很多人还是很舒心的，如果计算机“不听话”，直接关机就可以了。但事实上，是计算机把它们的“手”放在了我们的插座上。（再过几十年，它们的“手”就会变成真正的手了。）

不过现在不用过于担心这一点——当下的计算机还是可靠、温顺且愚蠢的，其可靠性（虽然并不完美）会继续保持下去，但麻木性就不会了。倒是人类——至少是那些没有与时俱进的人，会在几十年后看起来比较愚蠢，其温顺的特性也会消失。

在处理快速增长的具体任务方面，现代计算机的智能性令人瞩目，甚至令人惊叹，但现代机器又是思维狭隘且脆弱不堪的。相反，人类即便偏离了自己的专业领域，在其他领域同样可以实现软着陆。和“深蓝”计算机不同，加里·卡斯帕罗夫并非在象棋领域之外一无所长。

计算机正迅速朝多元化领域进军。未来计算机的智能超凡技术怕是用十几本书的例证也难以尽述的，这里暂且先看几个绝妙的例子吧。

富有创造力的机器

在我们这样的时代里，机械技术无疑已经达到了完美的境界，聆听最著名的乐曲就像喝一杯啤酒那么简单，只需花费10个生丁[注]，与自动称重机没什么两样。我们是否应该对这种驯服声音的本领感到畏惧，对这种随意从唱片中播放乐曲的魔法感到畏惧呢？人们一度认为艺术力量是坚不可摧的，那这种机械技术是否破坏了艺术的神秘力量呢？

——克劳德·德彪西

同机器合作！操纵机器与同它们合作有什么区别？……突然，一扇通往无数可能性的窗子打开了；时间的限制将消失不

见，机器似乎变成了交互式网络中拟人化的组成部分，机器仍然驯服于人类，却对人类对想象力的掌控极为不满。

——弗拉基米尔·尤萨契夫斯基

有人对毕加索说他应该按照事情本来的样子作画——客观写实的画。他咕哝着说，自己不确定那会是什么样子。这个存心欺负毕加索的家伙从钱包里拿出自己妻子的照片说道："你瞧瞧，这才是她真正的样子。"毕加索看了一眼，说："她特别小，是不是？而且又扁又平？"

——格列高里·贝特森

控制论艺术家的时代已经开启了，虽然还处在初期阶段。就像我们不了解人类艺术家一样，你永远不知道这些富有创造力的机械系统接下来要做什么。不过，迄今为止，它们还没有做出切下一只耳朵或者在街上裸奔的疯狂举动。它们还没有肢体可以去展示那样的创造力。

这些系统的优势可以通过短语、形状或乐谱等令人吃惊的独创形式表现出来。它们的弱势多半与背景有关，或者压根儿就没有背景。这些计算机尽管富有创造力，却缺乏人类拥有的现实世界的经验，因此，它们的思维总是不连贯。在艺术作品方面保持主题一致性最成功的案例，也许要数哈罗德·科恩创造的那位名为亚伦的机器人画家了，下文我会对此予以讨论。亚伦大获成功的主要原因是其拥有渊博的知识，科恩用了30年的时间一点一点地帮它建立起庞大的知识库。

计算机堵塞

由于这些系统通常具有独创性，因此成为人类艺术家伟大的合作伙伴，通过这种方式，计算机对艺术产生了巨大影响。这种趋势在音乐艺术领域体现得最明显。音乐一直在利用最先进的技术，18世纪制作橱柜的手艺、19世纪的金属制造工业、20世纪60年代的模拟电子学等，无不受到技术的影响。如今，几乎所有的商业音乐——录音、电影以及电视音轨，都是在计算机音乐工作站上制作的，计算机在工作站中合成并处理声音，记录并操纵音符的序列，生成乐谱，甚至可以自动生成节奏模式、移动低音旋律线以及旋律的连续和变奏。

近些年来，乐器演奏技术与创造的声音联系越来越紧密。过去，如果你想听小提琴的声音，就必须得演奏小提琴才行，那时的演奏手法是按照制造声音的肢体条件来的，而今，演奏必需依赖肢体的情势已经打破。如果你喜欢长笛演奏的手法，或者你恰巧学过吹长笛，那么现在就可以利用电子吹奏乐控制器，演奏出来的效果和原声长笛演奏一样，不过，电子控制器能演奏出来的不仅仅是变奏的长笛乐声，还有很多其他乐器的声音，原声乐或电子乐。现在有一些控制器可以模仿最受欢迎的原声乐器，比如钢琴、小提琴、吉他、鼓以及其他吹奏乐器。我们已经不再受制于创造原声的物理法则，新生代控制器与传统原声乐器没有任何相似之处，却优化了用手指、胳膊、脚、嘴以及脑袋等部位创造音乐的人为因素。所有可以复调演奏的声音都可以分层（同步演奏）按顺序演奏。并且，没必要再进行实时奏乐——可以用一种速度演奏音乐，再用另一速度回放，无须改变音调或音符的其他特征。所有由来已久的限制都已被解除，这样一来，一位十几岁的少年在自己卧室里的演奏听起来也可以像交响乐团或者摇滚乐队一样大气磅礴了。

音乐的图灵测试

1997年，俄勒冈大学的音乐学教授史蒂夫·拉尔森（Steve Larson）设计了一套音乐的图灵测试。他让一位听众听辨三段旋律中的哪一段是由电脑创作，哪一段是两个世纪之前一位叫作约翰·塞巴斯蒂安·巴赫的人类作曲家创作的。当听众表示由拉尔森本人创作的那段音乐是电脑的工作成果时，他有些受挫，不过当听众认为由一台叫作EMI（Experiments in Musical Intelligence，音乐智能测试）的计算机程序创作的音乐是巴赫的作品时，他又感到非常欣慰。道格拉斯·霍夫施塔特是一位长期观察机器智能进步的学者，他也为之做出了自己的贡献，他将作曲家戴维·科普创造的EMI称为“迄今为止我在人工智能领域见过的最启人深思的项目”。注

也许更成功的是一项叫作“即兴演奏者”的程序，它是由英国爵士萨克斯演奏家保罗·霍奇森（Paul Hodgson）编写出来的。“即兴演奏者”可以模仿巴赫的作品，可以模仿伟大的爵士乐演奏家路易斯·阿姆斯特朗（Louis Armstrong）以及查利·帕克（Charlie Parker）的作品。该程序已经有了自己的粉丝。霍奇森自己评价说：“如果我刚刚来到某座城市，听见有人像‘即兴演奏者’一样演奏，我会高兴地加入其中。”注

如今计算机作曲的弱点还是背景。霍夫施塔特说：“如果我把EMI打开三秒钟，然后问自己‘这是谁的作品？’，我会说是巴赫的”。并非作品越长就越成功。通常的感觉是“就像听济慈的十四行诗当中随机的几行句子。你会猜想那天济慈到底经历了什么，是不是喝得烂醉如泥？”

文学机器

有一个问题问大家：什么样的凶手有纤维？

答案是：麦片杀手。

我要立刻承认这并不是我自己编造出来的俏皮话，而是由一个叫作JAPE（Joke Analysis and Production Engine，玩笑分析与产出引擎）的计算机程序写出来的，该程序由金·宾斯特德（Kim Binsted）编写而成。JAPE是最新潮的蹩脚笑话自动编写程序，与EMI不同，JAPE最近与人类喜剧演员史蒂夫·马丁（Steve Martin）合作时，并没有通过改进版的图灵测试，观众显然更喜欢马丁。[注]

在技术运用方面，文学艺术远不及音乐艺术。也许这是因为对计算机来说连日常散文这类常见文体都有一定的深度和复杂性，这一点图灵设计这项测试的时候也意识到了（该测试旨在检测人类产出令人信服的书面语的能力）。不过，计算机对我们这些编写书本的人却大有好处。影响最大的是简单的文字处理器，该处理器本身并不是一种人工技术，而是从20世纪60年代麻省理工学院人工智能实验室或其他什么地方的文本编辑器衍生而来的。

当然，本书的写作也得益于语言数据库、单词拼写检查器以及在线词典，万维网上浩瀚的资源更是功不可没。本书的大部分内容都要归功于我的个人计算机，计算机使用了一种叫作Voice Xpress Plus的语音识别程序，该程序源自Lernout & Hauspie（前身是库兹韦尔应用智能公司）的听写部门，在本书创作过半时投入使用。在自动检查语法和文字风格这一方面，我不得不关闭微软Word程序中“拼写检查”这一项，因为它对我写的大部分句子都不太喜欢。我还是把风格上的批评指正的工作留给我的人类读者吧（至少这一本书要这么做）。

有很多程序可以帮助作者进行头脑风暴。比如说Para Mind，它能够根据自己的文献材料[注]“基于用户的想法产生新想法”。还有一些程序可以帮助作者追溯虚构小说的延伸作品，比如长篇小说、系列小说以及电视剧中复杂的历史、人物特性以及作品中角色的互动等等。

要编写一种可以完全独立创作文字的程序着实有点困难，因为人类读者对有意义的书面语中大量的句法和语义要求有着很强的感知能力。音乐家、电脑音乐家或其他形式的音乐家，都不像作家那样对连贯性有那么高的要求。

记住这些话，然后思考下面的内容。

一个背叛的故事

戴夫·斯特福尔热爱自己的大学。他热爱爬满了常青藤的钟楼，热爱它古老而又坚硬的青砖，热爱阳光斑驳地洒在青翠的草地上，热爱校园里朝气蓬勃的年轻人。他也热爱校园里没有商界不近人情的氛围，但事实并非如此：学院有自己的测验，有些测验就像商业市场当中的测验一样残酷无情。最好的例证就是论文答辩：为了得到博士学位，成为一名医生，学生必须通过论文的口试。爱德华·哈特教授最喜欢出这种测验。

戴夫十分想成为一名医生。他需要在论文第一页获得三个人的签名，这三个签名可是无价之宝，可以确保他通过答辩。其中一个签名就是哈特教授的，他过去总是说——对别人说，也对自己说，他很荣幸能够帮助戴夫实现他应得的梦想。

在答辩之前，戴夫复制了一份论文交给哈特教授。教授读完之后告诉他论文写得非常好，答辩当天他会愉快地在上面签字。他们甚至还在教授堆满书籍的办公室里握了握手。

答辩时，戴夫慷慨激昂地总结了论文的第三章。接下来有两个提问，分别来自罗杰斯教授和米特博士，戴夫一一做了回答，显然，每个人都很满意。没有人再提出异议。

罗杰斯教授签了字，把论文递给米特博士，她签了字后又递给哈特教授，但他却一动不动。

“艾德？”罗杰斯说道。

哈特教授还是纹丝不动。戴夫觉得有一点晕眩。

“爱德华，你要不要签字？”

后来，哈特独自坐在办公室里，坐在那张巨大的平沙发上，他很遗憾戴夫未能通过答辩。他绞尽脑汁地想了很多办法帮助戴夫圆梦。

好了，故事到这里就结束了。诚然，这个故事有点虎头蛇尾，结尾处非但没有振聋发聩，反倒呜咽低回的。西雅图的作家兼编辑苏珊·马尔卡希（Susan Mulcahy）认为这个故事写得太“业余”，并批评了作者的语法和用词。但当她得知作者其实是一台计算机时，觉得又惊又喜。创作这个故事的电脑程序叫BRUTUS.1，由美国伦斯勒理工学院的塞尔默·布林斯乔德（Selmer Bringsjord）、戴夫·费鲁奇（Dave Ferucci）和一组软件工程师编写。显然，BRUTUS.1是“背叛”的专家，布林斯乔德和费鲁奇花了8年时间，煞费苦心地让计算机学会了“背叛”这一概念。研究人员认为他们的程序还需要学习除了“背叛”以外的概念。布林斯乔德和费鲁奇都认为“有趣的作品应该包含一切情感”，但这也是计算机作家目前做不到的。

计算机诗人

还有一个计算机程序是计算机化作家的案例，是由我本人设计的，名为RKCP（“雷·库兹韦尔的计算机诗人”）。该程序是一个电脑诗歌生成系统，可以在它“读”过的诗歌基础上使用语言模拟技术，自动生成完全独创的诗歌。注

RKCP阅读了某位或某些（最好大量阅读）作者的精选作品，然后在马尔可夫模型（神经网络在数学领域的表亲）㊟的基础上进行相应作者的“语言模拟”创作。我之前提过，RKCP分析过原创作者的风格后，利用递归的诗歌生成算法来创造自己的语言风格、节奏模式以及原先作者的诗歌结构。还需要一些算法来保持诗歌主题的一致性。这些诗歌的风格与分析的原创作者风格类似，却是全新的原创诗歌。该系统甚至设置了一些规则阻止自己抄袭。

下面是RKCP“读”过几个著名诗人以及几位当代诗人的作品后，自己创作的诗歌小样。

雷·库兹韦尔的计算机诗人的诗歌

PAGE

雷·库兹韦尔的计算机诗人阅读温迪·丹尼斯（Wendy Dennis）的作品后创作的俳句：

Sashay down the page

through the lioness

nestled In my soul.

IMAGINE NOW AND SING

雷·库兹韦尔的计算机诗人阅读温迪·丹尼斯和雷·库兹韦尔的诗歌以及很多其他作者创作的爱情诗歌后，自己写的诗歌：

Imagine now and sing,

creating myths

forming jewels from the falling snow.

SOUL

雷·库兹韦尔的计算机诗人阅读约翰·济慈及温迪·丹尼斯的作品后创作的俳句：

You broke my soul

The juice of eternity,

the spirit of my lips.

I THINK I'LL CRASH

雷·库兹韦尔的计算机诗人阅读雷·库兹韦尔、罗伯特·弗罗斯特以及温迪·丹尼斯的诗后，自己写的诗歌：

I think I'll crash.

Just for myself with God

peace on a curious sound

for myself in my heart?

And life is weeping

From a bleeding heart

Of boughs bending

such paths of them,

of boughs bending

such paths of breeze

knows we've been there

THE STIFLING STUFFY

雷·库兹韦尔的计算机诗人阅读帕特里夏·卡马雷纳·罗丝（Patricia Camarena Rose）以及温迪·丹尼斯诗后创作的俳句：

The stifling stuff

Catholic schoolroom,

where I cannot be real.

WONDERED

雷·库兹韦尔的计算机诗人阅读戴夫·吉托默（Dave Gitomer）的诗歌后创作的诗歌：

today i wondered

if i mused

today i saw you

i learned

in awe and you

if i wondered

if i mused

today i had one wish

if i saw you

if i saw you

if i had one wish

MOON CHILD

雷·库兹韦尔的计算机诗人阅读凯瑟琳·弗朗西斯·惠勒（Kathleen Frances Wheeler）的诗歌后创作的俳句：

Crazy moon child

Hide from your coffi

To spite your doom.

ANGEL

雷·库兹韦尔的计算机诗人阅读帕特里夏·卡马雷纳·罗丝以及苏·克莱普斯·凯莉（Sue Klapes Kelly）的诗歌后创作的诗歌：

Beams of the dawn at the angel

With a calm, silent sea

With a hundred times we write,

With a chance we can open up

a steady rhythm in his face

silent room

desolate beach,

Scattering remains of love.

TOMCAT

雷·库兹韦尔的计算机诗人阅读兰迪（Randi）和凯瑟琳·琳恩（Kathryn Lynn）的诗歌后创作的俳句：

An old yellow tomcat

lies sleeping content,

he rumbles a heart

LONG YEARS HAVE PASSED

雷·库兹韦尔的计算机诗人阅读兰迪和凯瑟琳·琳恩的诗歌后创作的诗歌：

Long years have passed.

I think of goodbye.

Locked tight in the night

I think of passion;

Drawn to for blue, the night

During the page

My shattered pieces of life

watching the joy

shattered pieces of love

My shattered pieces of love

gone stale.

SANDALS

雷·库兹韦尔的计算机诗人阅读金伯利·麦克劳克林（Kimberly McLauchlin）以及雷·库兹韦尔的诗歌后创作的俳句：

Scattered sandals

a call back to myself,

so hollow I would echo.

视觉艺术

计算机对视觉艺术的影响介于音乐艺术和文学艺术之间。很多视觉艺术都是通过绘画和插图程序创造出来的，这些程序可以模仿传统材料的效果（比如画法）以及许多只能在计算机上操作的技巧。

网络上遍布着计算机艺术家的奇思妙想。其中一种颇受欢迎的技术是进化算法，该算法使得计算机可以成百上千次地反复重新创作一幅画。人类认为这种方法有点困难——首先，这样会浪费许多颜料。“突变”（Mutator）是由雕刻家威廉·莱瑟姆（William Latham）和位于英国温彻斯特IBM的史蒂芬·陶德（Stephen Todd）利用进化方法

创造出来的，马萨诸塞州坎布里奇基因艺术学院的艺术家兼科学家卡尔·西姆斯（Karl Sims）编写的程序也运用了这一方法。注

利用计算机生成视觉艺术的领军人物很可能就是哈罗德·科恩。他设计的名叫亚伦的计算机化机器人在过去20年当中不断改进作画的技巧。这些视觉艺术作品完全是它的原创，都是由计算机独立完成的，并且全部用真正的色彩作画，科恩花费了30多年的时间为该项目编写了艺术创作过程的各种知识，其中包括构图、素描、透视、颜料以及各种绘画风格等。虽然该程序是科恩编写的，但计算机每次创作的画作都能让他大吃一惊。

经常有人询问科恩，许许多多出色的计算机画作如今陈列在全球各地的博物馆里，这样的成绩应该归功于谁。注科恩非常开心地将这份功劳全部揽到自己身上，反正亚伦的程序中没有抱怨这一功能，也不会怪自己。科恩还非常自豪地说，自己将是史上第一位过世后仍然能推出原创作品的艺术家。注

科恩的亚伦创作的作品

这五幅原创作品都是亚伦创作的，亚伦是由哈罗德·科恩编写程序并设计的计算机机器人，本书将那些彩色的图画在这里以黑白色调重现。















当下的预言

未来主义的历史源远流长，但并没有给人们留下深刻的印象。对未来的预言有许多问题，其中之一便是，那时人们会发现发生的一切与真实事件相去甚远。可人生好比轮盘赌，开了注后一切都晚了。

也许问题在于，我们不加区别地让任何人预言未来。或许我们应该提出明确要求，只允许拥有“未来主义证书”的人做预言。这些要求中应当包括一条，即10年甚至更久的时间后回顾当时的各种预言，至少应该有一半不会让人感到尴尬。不过，这样的证书认证项目应该是一个缓慢的进程，并且我怀疑这样做是违背宪法的。

要想搞清楚未来主义为何名声这么差，那就一起来看看下面这些“聪明人士”做出的预言案例吧：

“电话的缺陷太多，很难让人把它当作真正的交流工具。”

——1876年，西部联盟电报公司执行官

“不可能有比空气重的飞行机器。”

——1895年，开尔文勋爵（Lord Kelvin）

“物理科学界所有最重要最基本的法则都已被发现，它们已经根深蒂固，不可能再有其他新发现。”

——1903年，阿尔伯特·亚伯拉罕·米切尔森

（Albert Abraham Michelson）

“飞机毫无军用价值。”

——1912年，福煦元帅（Marshal Foch）

“我想世界市场对计算机的需求总量大约只有五台。”

——1943年，IBM主席托马斯·沃森（Thomas Watson）

“未来计算机的重量不会超过1.5吨。”

——1949年，《大众机械》（Popular Mechanics）

“利用电脑技术尽可能地去收货成果的能力似乎已经到达了极限，不过人们应该小心自己的言论，否则五年之后再听见这些话会显得自己很蠢。”

——英国数学家约翰·冯·诺依曼（John von Neumann）

“640 000字节的内存足以满足任何一个人的需求。”

——1981年，比尔·盖茨

“2000年之前，所有大学学位、专业以及学分的陈旧结构都将动摇。”

——阿尔文·托夫勒（Alvin Toffler）

“1996年，互联网将彻底崩塌。”

——罗伯特·梅特卡夫（Robert Metcalfe，以太网的发明者）1997年又当众吃掉了写有这句话的纸

现在请允许我自我夸奖一番，同大家分享一些业已实现的预言。但回头看我过去20多年做的预言，我还是会说没有任何预言会让自己感到尴尬（也许一些早期的商业计划除外）。

我曾经对20世纪90年代做出过很多预言，比如以下这些：

• 预言：计算机将在1998年左右打败人类世界象棋冠军，此后象棋在我们眼里也就不算什么了。

• 预言：大多数新财富的创造得益于产品及服务中知识含量的增加，与此同时，商品（即物质资源）的价值将会持续降低，继而引起经济的增长与繁荣。

发生了什么：不出所料，一切都是完美无缺的（有一点除外，即商品的长期投资者在过去10年中减少了40%，这一点也是我们早已预料到的），就连总统和议会的政客支持率都达到了全盛时期的最高点，但是经济的繁荣更应该归功于华盛顿西海岸的议案，而不是华盛顿东海岸的议案。并不是说盖茨先生理应得到最高荣誉，而是说如今全球经济的推动力确实是信息、知识以及相关的计算机技术。美国联邦储备系统主席艾伦·格林斯潘（Alan Greenspan）最近承认，如今经济空前的持续繁荣和经济扩张都是信息作用下效率不断提高的缘故。但这句话只有一半说对了。格林斯潘忽略了一个事实，即大部分正在创造中的最新财富本身就是信息和知识的组成部分——仅硅谷就占了一万亿美元，尽管提高的效率还只是故事的一部分而已。与电脑相关的（主要是软件）公司的最新财富以市场资本化的形式出现，这些财富是真实存在的，并且会带来水涨船高的效应。

美国众议院银行业下属委员会报道，在1989~1997年的8年时间里，美国房地产和耐用品的总价值仅增长了33%，从9.1万亿美元增长到12.1万亿美元。银行储蓄和信贷市场票据的价值仅增长了27%，从4.5万亿美元增长到5.7万亿美元。但是，股票却足足增长了239%，从3.4万亿美元增长到11.4万亿美元！而此次增长的推动力就是产品和服务中迅速增长的知识含量，以及由信息技术带来的高效率。新财富就是在这里创造的。

信息和技术并不会受到物质资源可用性的限制，它们和加速回报定律一样，将继续呈指数级增长。加速回报定律也包括金融回报。因

此，这一定律的关键含义就是经济持续增长。

在20世纪80年代末，日本以及亚洲其他国家的经济危机引起了全球的极度关注。美国已敦促日本通过削减税收和减少政府开支的办法刺激经济。但是，很少有人关注引起经济危机的根本原因，包括亚洲软件产业的发展现状，以及推动软件创造和其他知识形式的有效管理机制的欠缺等因素。这些机制包括风险和天使投资，(注)广泛分配的员工持股选择，利用奖励来鼓励和回馈承担风险的行为等。虽然亚洲一直在朝这一方向努力，但这些新的经济需求正迅速增长，其速度远远超出了大部分观察者的预期。

- 预言：一个几乎将所有组织和上千万人连接在一起的全球性信息网络即将出现（当然，名字不是万维网）。

发生了什么：1994年，网络出现了，1995~1996年间迅速发展。网络确实是一种全球性现象，众多产品和服务以信息的形式出现在全球各个角落。1998年，美国商务部的一份报道将互联网誉为促进经济增长、抑制通货膨胀的关键因素。这份报告预言说，截至2000年，互联网上的商业额将超过3 000亿美元。把所有在网络上进行的B2B（企业对企业）的交易都考虑在内，行业报告的数字大概是1万亿美元。

- 预言：为教室铺设电缆将成为全国性的行动。

发生了什么：美国大部分州（可惜不包括我所在的马萨诸塞州）每年都有5 000万~1亿美元的预算为教室铺设电缆，安装相关的计算机和软件。为所有学生提供计算机和网络已经成为全美的首要任务。很多教师仍然不会使用计算机，但是孩子们却可以利用这些设备学到必要的专业知识。

- 预言：在战事方面，未来会高度依赖数字成像技术、模式识别以及其他基于软件的技术。谁拥有更加智能的技术，谁就会获胜。“军事战略当中的深刻变革将在20世纪90年代初到来。较发达的国家会越来越依赖‘智能武器’，其中包括电子导航、模式识别技术以及先进的追踪、鉴定和摧毁技术。”

发生了什么：几年之后，海湾战争成了第一个证明这一预言的案例。如今，美国拥有基于计算机的最先进武器，其作为军事超级大国的地位没人能够撼动。

- 预言：大部分商业音乐将会在以电脑为基础的合成器上创作而成。

发生了什么：电视上、电影里以及录音机上的大部分音乐都是在数码合成器、基于计算机的定序器以及声音处理器上创作完成的。

- 预言：视觉和语音模式中将运用模式识别技术，可靠的身份识别方法在很多情况下将取代锁和钥匙。

发生了什么：使用语音模式和面部表情进行身份识别的技术已经在支票兑现机器上投入使用，在建筑和某些场地的安检入口也开始使用这一技术。

- 预言：许多文件将不再以纸张的形式出现，因为它们所包含的信息将以音频和视频片段的形式呈现。

发生了什么：网络文件就包括音频和视频片段，而且它们只能以网页的形式存在。

• 预言："无人驾驶"技术（运用道路上的特殊传感器的自动驾驶汽车）无人驾驶技术将于21世纪的头10年在主要的高速公路上得到运用。

发生了什么：洛杉矶、伦敦、东京及其他城市都在进行自动驾驶汽车测试。1997年，在加州南部的15号州际公路上有很多测试成功的案例。如今许多城市规划者都意识到，自动驾驶技术将极大地扩大现有道路的承载能力。在高速公路上安装必要的传感器，每英里的造价仅为1万美元，而修建高速公路的造价少则每英里100万美元，多则1 000万美元，相比之下，安装传感器的费用简直太低了。自动高速公路和自动驾驶汽车还可以减少道路上的车祸事故。美国国家自动化高速公路系统（NAHS）财团正计划在21世纪的头10年着手应用这些系统。注

• 预言：20世纪90年代初将出现连续语音识别系统（CSR），该系统含有大量词汇，可以满足不同的具体任务需求。

发生了什么：哎哟。针对具体领域任务的大词汇量连续语音识别系统直到1996年才出现。到1997年年末和1998年年初，在商界推出了不受领域限制、可以听写文本文件（比如这本书）的大词汇量语音识别系统。注

• 预言：翻译电话所需的三种技术（比如，你接电话的时候使用英语，打电话给你的人用德语）——独立于说话人的（新用户无须接受训练）、连续的、词汇量大的语音识别技术，语言翻译技术，以及语音合成技术，将在20世纪90年代末推出第一代质量上乘的系统。因此，我们可以期待"21世纪最初的几年里，至少会推出主流语言的电话翻译，而且其表现也会让人满意"。

发生了什么：独立于说话人的高效语音识别技术可以处理连续的语音和大量词汇。自动语言翻译可以迅速把网站上的一种语言翻译成另一种语言，现在可以直接在网页浏览器上使用这一功能。大量语言需要的文本对语音合成器在几年内也将成为现实。这些技术都可以在个人计算机上得到运用。在Lernout & Hauspie公司（于1997年兼并了我的语音识别公司，即库兹韦尔应用智能公司），我们把一台翻译电话的技术展示合并在一起。21世纪的头10年，这一系统有望投入商业领域。注

与机器在一起的生活：一些重要的事情

我走上舞台，开始用一台陈旧的竖式钢琴弹奏乐曲。然后遇到了一些“是或否”的问题。前美国小姐贝丝·迈尔森（Bess Myerson）被难住了。但是电影明星亨利·摩根（Henry Morgan）——本期“我有一个秘密”（I’ve Got a Secret）名人专家组中的第二位猜到了我的秘密。我弹奏的乐曲其实是由我本人编写的计算机程序创作的。那一年的晚些时候，约翰逊总统接见了我和另一位高中科学比赛获奖者。

上大学的时候，我用自己编写的电脑程序做了一笔生意，为高中生和大学配对。当时我们以每小时1 000美元的价格租用了马萨诸塞州唯一一台电脑，这台电脑的磁芯存储器居然有100个字节，我们可以把全国3 000所大学的信息同时储存进去。我们收到了很多孩子的来信，他们都对我们的项目所推荐的大学感到很满意。但是，也有几个家长对我们非常生气，因为系统并没有向他们的孩子推荐哈佛大学，这是我第一次亲身体验计算机对他人生活的影响。后来我把公司卖给了纽约的出版商Harcourt ,Brace & World，转而投身其他创意之中了。

1974年，可以识别打印字母的计算机程序出现了，即OCR（“光学字符识别”）程序，该程序只能处理一两种专用字体。我于当年成立了“库兹韦尔计算机产品公司”，着手开发第一代可以识别所有打印字体的OCR程序，同年晚些时候便获得了成功。于是，接下来的问题就成了：这个程序有什么用？就像很多智能的计算机软件一样，这个软件也在探寻自己究竟可以解决什么问题。

一次在飞机上，我碰巧坐在一位盲人旁边，他跟我说，他所经历的唯一不便之处就是无法阅读普通的印刷材料。显然，他在视觉上的不便并没有影响交流或者旅行。因此，我发现了我们一直在寻找的突破口——可以把“万能字体”（任何字体）OCR技术运用到这一方面，帮助盲人克服主要障碍。那时不像今天这样，可以随手找到扫描仪或者文本——语音合成器，所以我们只能亲手创造这些技术。到1975年年底，我们把自己发明的这三种新技术合在一起——万能字体OCR,OCD（电荷耦合设备）平板扫描仪，以及文本——语音合成器，创造了第一台为盲人阅读印刷材料的机器。KRM（“库兹韦尔阅读机”）可以大声朗读普通的书籍、杂志以及其他打印文件，这样盲人就可以阅读任何他想看的东西了。

1976年1月，我们宣布推出KRM，这个软件也引起了人们的共鸣。所有晚间新闻都在报道这则消息，沃尔特·克朗凯特（Walter Cronkite）用这台机器大声读出了他那具有鲜明特征的新闻结尾：“以上就是今天的全部新闻，1976年1月13日。”

推出这台机器后不久，我应邀参加了电视节目“今日秀”（Today show），当时我有点紧张，因为我们只有一台能阅读的机器。不出所料，就在该节目全国电视现场直播安排我出场之前的几个小时，那台机器出故障了。我们的首席工程师疯狂地把机器拆了，电子元件和电线的碎片散落了一地。当时要采访我的是

弗兰克·菲尔德（Frank Field），他走过来问我是否一切正常。“当然，”我说，“我们只是在做最后的调试。”

首席工程师又把机器组装到了一起，但还是不能正常工作。最后，他用了修复精密电子设备最古老的方法：搬起机器狠狠朝桌子撞了过去。然后这家伙突然就变好了。顺利完成了接下来的电视首秀。

歌手史蒂夫·旺达（Stevie Wonder）得知我们上了“今日秀”之后，决定亲自来验证一下这台机器。我们的前台接待员十分怀疑电话另一头的人到底是不是那位著名的传奇歌手，但她还是把电话转给了我。我邀请史蒂夫来试了试阅读机。他恳求我们为他制作一台专属的阅读机，于是，我们在工厂里忙了个底朝天，匆匆为他赶制了第一台产品（我们可不想把“今日秀”上展示的那台机器送给他，因为那台机器上还有几道伤痕）。我们向史蒂夫展示了如何使用这台机器，最后他带着自己的新机器搭计程车离开了。

随后，我们把扫描功能和万能字体OCR投入了商业用途，比如往数据库中输入数据，或者往新兴的文字处理计算机中输入数据。新的信息服务项目，比如Lexus（一个线上法律调查服务项目）和Nexus（一个新闻服务项目）成立了，它们就是使用“库兹韦尔数据输入机”来扫描和识别书面文件的。

1978年，努力为企业融资多年之后，我们很幸运地吸引到一家大公司——施乐公司（Xerox）的兴趣和投资。施乐公司的大部分产品都是把电子信息传送到纸张上。他们把库兹韦尔扫描仪及OCR技术视为一座桥梁，将纸张世界通往电子世界的路连接起来。所以，1980年，他们买下了我的公司。时至今日，大家还可以购买到我们最初开发的OCR，经过适当更新后，如今改名为施乐TextBridge，其质量持续在市场中独占鳌头。

我仍与史蒂夫·旺达保持着联系，1982年，在他位于洛杉矶的新录音室当中，我们有一次会面，他向我悲叹乐器界的发展形势。一方面，原声乐器的世界仍然存在，比如钢琴、小提琴和吉他，这些乐器为大多数音乐家提供了丰富多样的声音选择。虽然从音乐的角度来说比较令人满意，但这些乐器也有一些局限。大多数音乐家只能演奏一两种不同的乐器。即使你会的乐器不止一种，也没法同时演奏两种乐器。大多数乐器一次只能演奏出一个音符，能够塑造声音的方法非常有限。

另一方面，还有一个电子乐器的世界，电子乐器不存在控制方面的限制。在计算机化的世界里，你可以在音序器上录下一行音乐，然后回放，再用另一个顺序重新录一遍，这样就一行一行地谱写了一首多重乐器的乐谱。你可以分层处理多种声音，修改它们的声音特点，并且可以错时播放，使用各种其他技术。不过有一个问题，在电子世界里，你处理的声音听起来非常弱，就像是一架风琴，或者像是电子处理过的风琴声。

史蒂夫非常满意，如果我们可以利用非常灵活的计算机控制方法来处理原声乐器的美妙声音，那一定很棒！我仔细考虑了一下，这个想法听上去可行，所以那次会面后促成了“库兹韦尔音乐系统”的构建，并且定下了它的价值。

有史蒂夫·旺达做音乐顾问，我们便开始着手将两个音乐的世界结合起来。1983年6月，我们展示了“库兹韦尔250”（K250）的工程雏形，并于1984年投入商业生产。K250被视为第一台电子音乐乐器，可以成功地模仿大钢琴以及其他所有管弦乐器的复杂声音。

我父亲是一位著名的音乐家，我对电子音乐产生兴趣很大程度上是受他的影响。1970年他过世之前曾对我说，他一直相信有一天我可以把对计算机的兴趣和音乐的兴趣结合在一起，因为他能感觉到在这二者之间有一种天然的密切联系。我记得每次我父

亲想听听自己创作的某一曲管弦乐时，都得忙着张罗一整支管弦乐队。这就意味着要筹资、油印手写的活页乐谱、挑选和雇用合适的音乐家，安排可以演奏的音乐厅。一切准备就绪之后，他才能第一次听听自己的作品。上帝保佑他千万别不喜欢自己的作品，否则他就得解雇这些音乐家，并花费数天的时间亲手修改这些音乐。如今，音乐家可以在“库兹韦尔音乐系统”或其他合成器上轻而易举地更改自己的作品，就像在文字处理器上更改一个字母一样简单，然后可以立刻试听修改过后的成果。

1990年，我将“库兹韦尔音乐系统”出售给韩国的英昌钢琴公司，该公司是当时世界上最大的钢琴制造商。时至今日，“库兹韦尔音乐系统”仍然是全球电子乐器领域的领军品牌，在全球45个国家出售。

1982年，我还创立了“库兹韦尔应用智能公司”，希望创造一个激活声音的文字处理器。这一项技术急需MIPs（计算机速度）和百万字节（即内存），所以，早期的系统限制了用户可以使用的词汇数量。这些早期系统还要求用户在单词之间做出停顿：因此……你……不……得……不……这……样……说……话。我们把这种“离散文字”的语音识别技术与一个医学知识库结合在一起，为医生创造了一种创建医疗报告的系统，医生仅需对着自己的计算机讲话即可。我们的产品叫作Kurzweil VoiceMed[现在叫作“库兹韦尔临床诊断报告者”（Kurzweil Clinical Reporter）]，几乎能够引导医生完成整个报告程序。我们还推出了一个通用目的型的听写产品，叫作“库兹韦尔声音”（Kurzweil Voice），用户可以通过对着个人电脑一次说一个单词的方法创建书面文件。这一产品在无法正常使用自己双手的人群中大受欢迎。

2000年，受惠于摩尔定律，个人电脑的速度已经非常快，可以识别完全连贯的语音，因此我仅需对着我们的最新产品说话就

可以完成这本书剩下的部分，这款产品叫作Voice Xpress Plus，每分钟大约可以记录100个单词。当然，我不可能每分钟写100个单词，因为我总是改变主意，但Voice Xpress Plus似乎并不介意。

我们也把这家公司出售了，卖给了总部位于比利时的大型语音——语言技术公司Lemout & Hauspie （L&H）。1997年，L&H接手公司后不久，我们便安排L&H的听写部门（前身为库兹韦尔应用智能公司）和微软之间进行了一次战略性联盟，因此我们的语音技术很有可能会被运用到微软以后的产品当中。

L&H也是文本——语音合成器和语言翻译领域的领头羊，因此，现在该公司具有翻译电话所需的所有技术。我在上文提过，现在我们把一个系统的技术展示合并在一起，这样你就可以在接电话时讲英语，打电话的人依然可以讲德语，反之亦然。最终，人们可以给世界上的任何一个人打电话，你说的话可以立刻翻译成主流语言。当然，我们彼此误解的情况还是无法避免。

另一语音识别系统的应用——也是我们最初的目标，就是为失聪人士设计的听力装置。从本质上来说，这一系统与为盲人设计的阅读机器刚好相反。通过实时识别自然连续的语音，该装置可以让失聪人士读出别人正在说的话，进而克服他们面临的主要障碍。

1996年，我成立了一家新的阅读技术公司，名为“库兹韦尔教育系统”，已经为有视力却有阅读障碍的人群开发出新一代印刷体——语音阅读软件，还为盲人群体开发出新一代的阅读机。阅读障碍版本的软件叫作“库兹韦尔3000”，该软件可以扫描印刷文件，扫描效果与原始文件（比如说书本、杂志）上的原文完全一样，彩色图表和图片也都原封不动地保留下来。然后，这款软件可以一边大声阅读文件，一边用高亮形式标注出打印文件上

的内容。从本质上来说，该款软件所做的其实就是一位阅读老师该做的——一边指着自己正在读的文字，一边为小学生朗读。

这是一项可以惠及残障人士的技术应用，也给我带来了极大的满足感，堪称现代计算机的能力和残障人士需求之间的幸运搭配。现在的我们并非在创造一个计算机天才，时机尚未成熟。如今的智能计算机的智能还很低，只能为大部分残障人士的小缺陷提供有效的解决方案，机器有限的智能可以同残障人士灵活丰富的智能有效地结合起来。使用人工智能技术克服残障人士面临的障碍一直是我的个人目标。至于重大的身体残疾或感官残疾，我相信几十年之后就可以有效地彻底清除这些障碍。计算机就像人类思想的放大器，在帮助人们表达或拓展创造力方面有着极大的潜力。我希望可以发挥积极作用来发掘这方面的潜力。

这些项目都需要各个领域的杰出人士贡献自己的一分力量和聪明才智。每当听说或看见有新产品问世，看到它们对用户的生活发挥着积极作用，我就难掩兴奋之情。这些杰出人士的创造过程及成果为人们带来了共同的喜悦。

新勒德分子的挑战

我们先设想一下，假如计算机科学家成功开发出一种智能机器，做事情时在各个方面都完胜人类。如果是这样的话，只需要一个巨大的、高度组织化的机器系统来完成所有工作，根本不需要半点人类的努力。以下两种情况都有可能发生：也许人们会允许机器在没有人类监督的情况下自己做决定；也许人类会继续控制机器。

如果机器可以自己做决定，我们就无法对其结果进行任何预测，因为我们无法猜测机器会有怎样的行为举止。只能指出一点，即人类的命运将受机器掌控。也许有人会争论说，人类才不会愚蠢到把自己的命运交给机器来掌管。但我们的意思不是说人类会自愿把权力转交给机器，也不是说机器会强势夺权，而是说人类可能会轻易允许自己依赖机器，到那时就别无选择了，只能接受机器的一切决定。当社会和它所面临的问题变得越来越复杂，机器变得越来越智能时，人类就会让机器替自己做更多决定，仅仅是因为机器做的决定能比人类做的决定带来更好的结果。最终会是这样一种状态，能够保持系统运转所必需的决定非常复杂，而人类将无法智能地做出这些决定。到那时，机器将处在有效的控制地位。人类将无法再关闭机器，因为他们太过于依赖机器，关闭机器无异于自杀。

从另一方面来看，人类将继续掌控机器。如果是这样的话，一个普通人就可以控制几台自己的个人机器，比如他的车或者个人电脑，但是掌控大型机器系统的能力将掌握在少数几个精英手中——就像今天一样，但有两个差别：由于技术不断进步，精英对大众有着更多控制权；除此之外，由于人力劳动不再是必需品，普通大众会显得很多余，将会成为系统中一个无用的负担。如果这些精英残酷无情，他们可能会简单地决定将人类赶尽杀绝。如果这些精英是人类，他们可能会大肆宣扬，或者使用其他心理或生物技术来降低人类的生育率，直到人类灭绝，只把世界留给精英。如果这些精英是慈悲心肠的自由主义者，他们也许会决定在剩下的人类当中扮演好心的牧羊人角色。他们会确保每个人的物质需要都得以满足，每个孩子都能心理健康地长大，每个人都有一个让自己忙碌起来的健康爱好，那些对现状不满意的人会接受“治疗”来治愈自己的“问题”。当然，生活也会变得漫无目的，人们将接受生物或心理改造，以便移除他们对权力运行的需求，或者把他们对权力的欲望“升华”成为无害的爱好。这

些改造过的人类在这样的社会中也许生活得很快乐，不过最确定的一点是他们将失去自由。到那时，他们的地位会与家养动物无异。

——希尔多·卡辛斯基[注]

诺丁汉郡的纺织工人们享受着一种简朴而舒适的生活方式，这里的家庭手工业蒸蒸日上，人们负责生产精美的长袜和蕾丝，这种生活状态已经延续了好几百年，稳定的家族企业也一代一代传递下来。但在18世纪初，动力织布机和其他自动纺织机器诞生之后，这些纺织工人安逸的生活就戛然而止了，经济权从纺织工人的家族手中转交到机器所有者手中。

在这场动乱中，有一位叫作内德·勒德（Ned Ludd）的智力障碍者。据传言，由于他实在太笨，不小心砸坏了纺织厂两台机器。从那时起，无论工厂何时安装新设备，都会神不知鬼不觉地遭到破坏，每个被怀疑有作案嫌疑的人都会说：“这是内德·勒德干的。”

1812年，走投无路的纺织工人成立了一个秘密社团，一个城市游击队。他们威胁工厂所有者，并向他们提出要求，很多工厂老板都妥协了。有人问这些工人，谁是他们的指使者，他们回答：“这还用问？当然是内德·勒德将军。”这些人被称作“勒德分子”，他们最初只对机器发泄自己的暴力，但那年的晚些时候却爆发了一些流血事件。托利党政府对勒德分子终于忍无可忍，将主要人员关进监狱并实施绞刑，这场运动也随之土崩瓦解了。[注]

机器取代雇佣工人的能力对勒德分子而言并不是一种智能。他们发现自己的生活方式遭到了全面破坏。更新颖、更能赚钱的工作岗位已经被创造出来，以便设计、制造和营销新的机器，但这一点也没有

让纺织工人感到宽慰。当时也没有任何政府项目来将这些工人培训成机器的设计者。

虽然那些纺织工人未能创造一个持续可行的运动，但当机器取缔了人类工人的时候，勒德分子仍然是一个强有力的象征。自动化对职业的影响有很多案例，其中一个案例就是约有1/3的美国人在20世纪初从事农产品的生产活动。到20世纪末，这一比例只有3%。[注]就算告诉100年前的农民他们失去的工作最终会被未来电子产业的新工作接替，或者他们的子孙后来将来会成为硅谷的软件设计师，他们也不会宽慰多少。

失去工作的真实性，通常比间接向人们许诺在遥远的新行业中会有新的工作机会更引人注目。当广告机构开始使用库兹韦尔合成器而不是雇用现场乐师为电视广告创造音轨的时候，音乐家协会对此非常不满。我们指出，新的计算机——音乐技术事实上对音乐家是有利的，因为它能让音乐变得更鼓舞人心。举例来说，以前使用提前录制好的管弦乐的行业电影（因为这类电影的预算有限，没办法雇用一整支乐队），现在都开始使用由一位乐师和一台合成器创造的原创音乐。结果，这种解释并不是一个令人信服的论点，因为合成器播放器似乎并不是音乐家协会的一员。

勒德分子的哲学作为一种意识形态倾向，似乎现在仍然活跃着，但是作为一项政治和经济运动，它似乎不再是当代辩论的重点。大众似乎明白，新技术正在刺激经济繁荣发展。很多数据清楚地表明，自动化创造的工作岗位远比它取缔的工作岗位多。1870年，只有1 200万美国人（约占平民人口的1/3）有工作。到1998年，2/3的平民人口拥有的工作岗位数量飙升至1.26亿。[注]1958年，人均国民生产总值从1870年的530美元增至至少5 300美元。工作带来的收入也发生了巨大变化。实际财富增加了10倍，[注]人民的生活水平、医疗卫生保健水平和受教育水平都有了极大提高，也更有能力去帮助那些社会中需要帮

助的人。在工业革命初期，北美洲和欧洲西北部人们的寿命长度大约是37岁。现在，两个世纪之后，这些地区的人的寿命翻了一番，并且还在继续增加。

新出现的工作岗位层次也一直在提高。事实上，那些新岗位中很大一部分都在为当下的工作提供必需的高强度教育。举例来说，现在我们每个人为公共教育花的钱是一个世纪前的10倍（按不变美元计算）。1870年，只有2%的美国成年人有高中学历，但现在这一比例已增加到80%。1870年，全美只有5.2万名大学生，现在已有1 500万大学生。

自动化进程大约始于200多年前的英格兰——现在还在加速前进（遵循加速回报定律），消除了技术阶梯底层的工作，创造了技术阶梯顶层的新工作。因此，对教育的投资也在不断增加。然而，虽然教育在不断创新，但是当技术阶梯超越了大部分人的能力之后会发生什么呢？要是超越了所有人的能力呢？

根据加速回报定律，我们可以预测的答案就是，阶梯还会向更高的水平攀升，这表明人类也需要通过其他手段让自己变得更有能力，教育只能实现这么多了。人类赶上技术发展进度的唯一方法就是，从自己创造的计算技术当中获得更多能力，也就是说，人类要和技术融为一体。

并非所有人都觉得这样的前景很有吸引力，因此勒德分子的问题将在21世纪有所扩大，从人们的生计到人类的本质问题。然而，到了21世纪，勒德分子的运动不大可能比两个世纪前有更大进展，它缺少可以执行的议程表。

希尔多·卡辛斯基用他所谓的“大学航空炸弹怪客宣言”写过一篇标题为《工业化社会及其未来》（Industrial Society and Its Future）的文章，我曾在前文中引用过。文章主张向自然的简单回

归。(注)卡辛斯基说的不是19世纪时造访瓦尔登湖的那种冥想型回归，而是人类放弃一切技术回归更原始简单的时代。虽然他列举了很多工业化带来的危险和损坏的案例，这些案例也比较引人注目，但是他提出的建议既没有说服力也不可行。毕竟，也没有多少自然可以让人类回归了，而且地球上人类又太多。不论好坏，我们都和技术绑在一起了。

你的计算机诗人写的诗还挺有趣。

我对你选择了哪几首更有兴趣。

好吧。你的选集当中前几首诗：

Sashay down the page . . .

through the lioness / nestled in my soul . . .

forming jewels from the falling snow . . .

the juice of eternity, / the spirit of my lips . . .

但是这些诗好像并不都是连贯的，你明白我的意思吧？

我明白，读者对散文不连贯性的容忍程度要高于对诗歌的容忍。根本问题是现代计算机艺术家还没有能力像人类艺术家一样驾驭结构。当然，它们这种局限性也不会一直都存在。最后，我们将会变成结构深度有困难的那一方，而电脑却可以灵活处理结构——

而无须我们的帮助——

从计算机延伸到我们的智能，是的，没错。与此同时，计算机诗人还是一个善于鼓励别人的助手。虽然它的诗歌并不都是连贯的，但

在寻找独特的词汇方面，它确实挺有本事。所以，该项目有一个叫作“诗人助手”的模式。人类用户在文字处理窗口中写一首诗，“诗人助手”看着她写，然后在屏幕的其他地方写满建议。比如说“罗伯特·弗罗斯特是这样写完这一句的”，或者“这是济慈曾经和那个词搭配过的一套尾韵或头韵”，或者“艾米莉·迪金森是这样写完这首诗的”等等。如果给人类作者提供他们自己的诗歌，“诗人助手”甚至还会提出诗人本人会如何完成这一行或者这一首诗。每次你写下一个字，就可以从它那里得到很多想法建议。并不是所有的建议都有意义，但这在作者文思枯竭的时候提供了一个很好的解决方案。

那么科恩的画……

你是说亚伦的画……

哦是的，可能我没太在意亚伦的感受……

因为它也没有任何……

目前还没有，是吗？但我要说的是亚伦的画似乎确实保留了它们的背景。我挺喜欢它的作品。

是的，科恩的亚伦也许是当下计算机视觉艺术家的最佳案例，当然也是计算机在艺术方面的初级案例。科恩已经在编写程序的时候为它编辑了素描和油画各个方面的许多规则，从画人类、植物以及物体的艺术本质到构图和颜色选择。

要记住，亚伦并没有试图去模仿其他艺术家。它有一套自己的风格，所以它的知识库可以在自己的视觉领域内保持相对完整。当然，人类艺术家，包括杰出的人类艺术家，也会在自己的领域受限。亚伦在其艺术多样性方面是值得人们尊敬的。

好吧，再谈谈不太值得尊敬的人吧，你引用了希尔多·卡辛斯基的话，说人类可能会依赖机器，那时我们将没有选择只能接受机器的决定。之前你暗示说所有的计算机都停止运转，照此看来，难道我们不是已经到那一步了吗？

在对机器的依赖性方面，我们确实已经到那一步了，但是从机器的智能水平方面看却并没有。

那一段引用非常——

连贯？

对，我想说的就是这个词。

卡辛斯基的所有宣言写得都很好，根本不是大家所认为的那种疯子形象。正如加州大学的政治学教授詹姆斯·Q·威尔逊（James Q. Wilson）曾经的评价所言："语言清楚、精确而又平静。论据微妙谨慎，根本不像是狂妄的声明或是不理性的猜测，这不是一个疯子可能写出来的东西。"他甚至还在互联网上召集了一批无政府主义者和反对技术的追随者。

互联网是技术的最终产物。

是的，这有点讽刺。

但为什么引用卡辛斯基的话呢？我是说……

因为他的宣言很有说服力地展示了心理疏远、社会混乱、环境破坏以及技术时代带来的其他伤害和事故，这种说服力就像是……

我不是这个意思。我是怀疑勒德分子很高兴有他作为自己想法的标志性人物。用卡辛斯基作为勒德分子的代言人似乎有点败坏他们运

动的名声。

好吧，这是一个合理的反对意见。我想我可以为自己大量引用他的话进行辩护，因为我在为相关现象提供重要的例证，也就是暴力的勒德主义。这个运动就是以暴力开始的，机器给人类带来的挑战确实很大，也许到21世纪还有可能出现这样的暴力反应。

但是引用的那些文字似乎不仅仅是一些边缘现象。

嗯，我和卡辛斯基的宣言居然有这么多共同观点，这也让我大吃一惊。

比如说……

哦，你现在提起兴致了。

确实挺感兴趣，就像你给我讲的其他事情。

我也觉得。卡辛斯基讲述了技术带来的好处，以及技术的成本和危险。他指出：工业社会不能发生有益于自由的改革，更深层次的原因在于，现代技术是一个统一的系统，在这个系统中，所有的组成部分都是互相依赖的。你不能只消除技术“坏的”部分而保留“好的”部分。就拿现代医学来说吧。医疗科学的进步依赖于化学、物理学、生物学、计算机科学以及其他领域的进步。先进的医疗治疗手段需要昂贵的高科技设备，只有技术进步、经济繁荣的社会才能提供这样的设备。显然，如果没有全套的技术系统和附属事物，你也不能指望医学取得重大进步。

到目前为止，一切都还挺好。接着，他又做出了基本判断，“坏的部分”要多于“好的部分”。倒不是说这是一种疯狂的观点，然而这就是我们有分歧的地方。并不是说技术的先进性总是会让人们受益。可以想到，人类终将在技术的道路上感到后悔。虽然风险是真实

存在的，但我的基本信念是，我们的收获值得我们冒一次险。但这只是一个信念，而不是我可以轻易证明的立场。

我对你所说的这些“收获”非常感兴趣。

物质收获是最明显的：经济发展、物质资源的重塑满足长久以来的需求、寿命延长、健康改善等等。然而，这其实并不是我的主要观点。

我看见了拓展思维的机会，可以延伸我们的学习能力，可以提高我们创造和理解知识的能力，这种能力也是人类本质的精神追求。费根鲍姆（Feigenbaum）和麦克杜克（McCorduck）这样评价：“这种能力是无畏的，也有人认为这是不计后果的，但它还是走进了神圣领域。”

所以为了实现这种精神追求，我们是在拿人类能否生存来冒险？

是啊，基本是这样。

勒德分子要采取行动终止这种行为我一点儿也不惊讶。

当然，要知道这是物质上而非精神上的收获，沿着技术发展的道路走下去会有更具诱惑力的社会等待着我们。

对于把卡辛斯基当代言人这一点，我还是觉得不太舒服。你知道的，他是一个杀人犯。

是的，我很高兴他现在坐牢了，而他的做法也理应让他受到谴责和惩罚。不幸的是，恐怖主义的方法依然行之有效，所以直到现在也没有根除。

我并不这么看。恐怖主义只是破坏了主流的观点和立场。然后人们就会把恐怖分子的立场看成是疯狂的，至少是被误导的。

那只是一种反应。但是请记住，这是个由思想组织起来的社会。我们对恐怖主义的反应不是只有一种。

我们大脑中的一部分说："这些行动都是邪恶疯狂的，所以恐怖分子的理论一定也是邪恶疯狂的。"

但是我们大脑中的另一部分却说："这些属于极端行为，所以他对此一定有非常深刻的感触。也许这有点道理。如果他的观点再表达得温和一点的话，或许就合情合理了。"

听上去好像希特勒"弥天大谎"的心理。

确实有一些相似性。拿希特勒来说，他的战略和观点都是极端的。拿现代恐怖分子来说，他们的战略是极端的，但他们的观点可能极端，也可能并不极端。比如卡辛斯基，他的论据从很多方面来看都是合理的。当然，他最终还是走向了极端。

是啊，在蒙大拿州的一个原始小屋里。

那里也是宣言终结的地方——我们都应该回归自然。

我觉得人们不会认为卡辛斯基对自然的观点多么有吸引力，至少从他居住的小屋照片来看是这样。

并且，就像我说的那样，已经没有多少自然供人类回归了。

多亏了技术。

还有人口膨胀——

这也是技术促进的结果。

所以，我们直接跳过回归自然这一点吧。现在再走自然路线为时已晚。

那么你推荐的是哪条路？

我觉得，我们不应该把技术的先进性仅仅视为没有人情味、冷漠无情的力量。

我认为你说的技术和计算加速进步就是不可阻挡的。还记得加速回报定律吗？

嗯，是的，先进性是不可阻挡的，我们也不会阻挡技术，但我们确实可以做出选择。我们有机会塑造技术，可以调整它的方向。我已经在自己的工作中尝试这么做了。我们可以小心谨慎地穿过技术的大森林。

我们最好赶紧行动起来，听上去好像有很多泥泞的山坡等待着我们。

---

1. 生丁，一种瑞士货币。——编者注
2. 马尔可夫模型是一种统计模型，广泛应用在语音识别、词性自动标注、音字转换、概率文法等各个自然语言处理等应用领域。——编者注
3. 卡辛斯基有良好的教育背景和工作经历，曾因对科技不明的反感而隐居多年，终因隐居生活被打扰而做出极端行为。现已被捕入狱。他的身份并不是非黑即白，值得我们生活在科技时代中的每个人思考。——编者注
4. 戴维·科普在其著作Experiments in Musical Intelligence （Madison, WI: A-R Editions, 1996）中谈到了EMI程序，其他有关EMI的讨论内容可见Margaret Boden,“Artificial Genius,”Discover magazine, October 1996。
5. 欲了解更多有关Improvisor程序的信息，见Margaret Boden,“Artificial Genius,”Discover杂志,October 1996，该文章主要讨论了“谁是计算机程序创造的艺术作品真正的作者——是程序员还是程序自己？”的问题。

6. Laurie Flynn,“Program Proves Bad Puns Not Limited to Humans,”New York Times, January 3, 1998.

7. “ParaMind能复制用户输入或粘贴到屏幕上的任何文本，并能系统地将该文本与新加的文字融合在一起。加入的文字都是互相关联的，如一组有关“视野”的形容词，或一组有关“行走”的副词。该程序会在用户输入或粘贴的文本中选中一两个词语和新加的词语匹配，当然是按照用户的意愿。最后得出的将会是根据用户各种想法变幻出的文本。”来自ParaMind Brainstorming Software官网。

8. 雷·库兹韦尔的电脑诗人（RKCP）是一款由雷·库兹韦尔设计、由Kurzweil Technologies开发的软件程序。

9. Karl Sims撰写了许多关于其科研工作的文章，包括“Artificial Evolution for Computer Graphics,”Computer Graphics25, no. 4 （July 1991）: 319－328.

10. 由Harold Cohen设计的电脑艺术家Aaron创作的画作在London’s Tate Gallery, Amsterdam’s Stedelijk Museum, the Brooklyn Museum, the San Francisco Museum of Modern Art, the Washington Capitol Children’s Museum等处均有展出。

11. Harold Cohen,“How to Draw Three People in a Botanical Garden,”AAAI－88,Proceedings of the Seventh National Conference on Artificial Intelligence, 1988, pp. 846－855.有关电脑艺术家Aaron的其他讨论内容见Pamela McCorduck,“Artificial Intelligence: An Apercu,”Daedalus, Winter 1988, pp. 65－83.

12. 风险投资是指各个组织集结到一起为公司（主要是新兴的公司）投资的基金。天使基金指有财力的投资者们为创业公司投资的基金。该类投资和基金都是美国高科技型创业公司的主要资金来源。

13. 了解更多详情，见“The Intelligent Vehicle Initiative: Advancing‘Human-Centered’Smart Vehicles,”by Cheryl Little of the Volpe National Transportation Systems Center.

14. 举个例子来说，Lernout & Hauspie公司的Voice XpressPlus产品结合了大词汇量、连续语音识别与文字转换和自然语言指令理解的特性。也有不含自然语言理解的连续语音识别软件——Dragon System开发的Naturally Speaking和IBM开发的ViaVoice.

15. 典型的翻译类产品有Langenscheidt的Tl Professional from Gesellschaft fur Multilinguale Systeme（Lernout &:. Hauspie Speech Products公司的分支）;Globalink Power Translator;和SYSTRAN Classic for Windows。

16. Duncan Bythell, The Handloom Weavers: A Study in the English Cotton Industry During the Industrial Revolution, p. 70.

17. Ben J. Wattenberg, ed.,The Statistical History of the United States from Colonial Times to the Present; U.S. Department of Commerce, Bureau of the Census, Statistical Abstract of the United States, 1997.

18. Ben J. Wattenberg, ed.,The Statistical History of the United States from Colonial Times to the Present.

19. U.S, Department of Commerce, Bureau of the Census,Statistical Abstract of the United States, 1997.

20. Ted Kaczynski的“Unabomber Manifesto”刊登在New York Times和Washington Post的1995年9月刊上。

第三部分　未来之光



图片


INTRODUCING:..
INTERACTIVEWEAR.
All is A-OK with your model # 7321-B Interactivewear Jacket.
I am tied too loosely. Please tighten.
Collar button missing. Soup stain on right side. Dry clean only.
WALLET GONE! WALLET GONE!
Curb approaching at twelve o'clock.

第九章
改变无处不在，未来就在眼前



自有记忆以来，我就希望自己能足够幸运生活在一个伟大的时代——能遇上点大事，比如耶稣受难。但我突然意识到，自己已身处其中。

——本·沙恩

正如我们在电脑软件业务中说的那样，“改变无处不在”。

——提姆·罗梅罗

人们总说我们高估了短期内能完成的事，却低估了长期内会发生的变化。随着变化的持续加快，我们甚至可以从21世纪初就开始制订长期计划。以此为基础，让我们想想21世纪伊始会发生些什么吧。

未来电脑

当下，每个人都有了自己的便携式电脑——比10年前的笔记本电脑要轻薄许多。未来，个人电脑的大小和形状也更多样化，并且被嵌入衣服和手表、戒指、耳环等饰品内。此外，电脑都配有高分辨率视觉界面，尺寸有小如戒指、钉子、信用卡的，大如一本薄书的。

每个人周身都有至少十来台电脑，并通过“身体局域网”互相连接。[注]这些电脑可提供类似手机、寻呼机和网络浏览器的通信工具，进行身体性能监控，能在金融交易和进入安全区域时自动进行身份识别，还能提供导航等许多服务。

这些个人电脑将几乎不存在可拆卸的部件，存储记忆完全实现了电子化，大部分便携电脑都免去了键盘。

磁盘存储器（指记录在旋转圆盘上的电脑存储方式，如硬盘、CD和DVD光盘）会遭到淘汰，但在存储大量信息的服务器中仍会保留使用。大多电脑用户在家中和办公室都有计算机服务器，用来存储大量的软件、数据库、文件、音乐、电影、虚拟现实场景（此时仍处于初始阶段）等数字化“物体”。中央资源库也会提供个人数字化物品的存储服务，但大部分人更愿意自己掌控隐私信息。

连接电缆也在消失。[注]定点设备、话筒、显示屏、打印机、鲜少使用的键盘等各部件间的信号传输通过短距离无线技术实现。

每台电脑都配有无线技术以连入遍布全球的互联网，可以进行即时可靠的超宽带通信。数字化书籍、音乐专辑、电影和软件等事物能以数据文件的形式通过无线网络实现迅速传输，无须任何实物辅助。

大多数文本都由连续语音识别系统创造，但键盘仍保留使用。连续语音识别系统的准确性高，准确程度远超过几年前仍存在的人工转录员。

语言用户接口（Language user in terfaces,LUIs）也已普及，该接口将连续语音识别技术和自然语言理解技术结合在一起，对简单业务交易和信息咨询等常规事务能做出敏捷准确的反应，越来越集中化、专业化。语言用户接口也展现出更生动的性格特征，与其互动进

行买卖或预约时，就如同和人进行视频会话一样，当然这个人是虚拟的人。

电脑显示屏的显示质量与纸质相当——高分辨率、高对比度、视角广阔、无闪烁。传统书籍、杂志和报纸现在都可以在显示屏上阅读，且尺寸更小。

电脑显示屏还被嵌入镜片中，其佩戴用户不仅可以正常看见现实环境，还能以现实环境为背景建立起虚拟图像。虚拟图像由镜片内嵌入的小型激光源产生，它能将产生的图像直接投射到用户的视网膜上。

电脑中还有移动图像摄影机，能对用户面部进行准确识别。

计算机电路系统中广泛使用了三维芯片，由老式单层芯片转换而来。

以芯片为基础的小型装置取代了普通扬声器，它们能在三维空间内任何地方清晰播放声音。此技术原理是以高频率音调的声波互相干涉产生的波长为基础，生成人耳可听频率的声音。这样一来，每个小型扬声器都能产生浑厚的三维声音。

一台1 000美元的个人电脑每秒能进行10亿次运算。超级电脑的硬件容量可以达到和人脑相当的水平——每秒进行2亿亿次计算。互联网上的闲置运算也被征用，用于制造与人脑硬件容量平行的超级计算机。

大规模并行神经网络、进化算法和其他“混沌”或复杂理论运算方法正在兴起，虽然大部分计算机运算仍由传统序列处理方法完成，也有为数不多的一些并行处理方式。

人们也在研究人脑的逆向工程，他们对不同大脑进行扫描，有对刚刚过世的人的大脑进行破坏型扫描，也有利用高分辨率的磁共振成像对活体人脑进行无创型扫描。

自主型纳米工程机器（即对原子和分子进行逐个建造的机器）已面世，并且能自行控制运算过程。但是，纳米工程仍无法算作一项实用科技。

教育

20世纪，电脑在学校中的运用仍处于起步阶段，大部分有效的电脑学习都是在家完成的。现在，虽然学校教育中的电脑使用不在该领域的前沿，但电脑已被广泛认可为教授知识的工具。正如在生活的其他领域一样，电脑在教育的方方面面也都起到重要作用。

大部分阅读都在显示屏上完成，然而纸质材料的读者群数量仍不可小觑。但是，大量21世纪出现的书籍和文件都会被扫描存储入计算机，纸质文件的增长量会大幅下降。而且，文件中还会包括内置影像和声音。

各个年龄段的学生都会有自己的电脑，每台电脑都是轻薄的平板式装置，重量不足一磅[注]，都具备高分辨率屏幕以供阅读。学生们可以通过声音或类似笔的点击设备与电脑进行互动。键盘将继续保留，但大部分文字语言都通过说话创造出来，学习材料也可通过无线通信获得。

智能课程软件也成了教学的常用方法。最近各种争议不断的研究表明，学生可以在互动教学软件上自主学习阅读、数学等基本技能，且效果与真人教学相差无几，非一对一真人教学时尤其如此。虽然这

些研究不断遭到非议，但多年以来学生和家长们都已逐渐接受了这个观点。教师指导一群学生的传统教学模式仍很普遍，但学校会更多利用电脑软件进行教学，从而给人类教师留出精力和时间关注学生的学习动力、心理健康和社交能力。越来越多的孩子也开始在上学前利用个人电脑自行学习阅读技能。

学前班和小学的孩子们通常会使用印刷文字阅读软件来阅读与其智力水平相当的文本，直到其阅读水平得到提高。这些印刷文字阅读软件系统可以完整呈现文件内容，并将文件中的印刷字体大声朗读出来，同时又能高亮显示正在阅读的内容，软件中的合成声音是逼真的人声。在21世纪初，一些教育家担心孩子们会过度依赖阅读软件，然而孩子和家长早已接受了这种软件。研究表明，视听同步呈现出来的文本确实可以提高学生的阅读技能。

远程学习（比如在授课者和听课者地理位置相距甚远的情况下）也非常普遍。

学习逐渐成为大部分工作的重要组成部分。在大多数职业中，训练和学习新技能的责任越来越重要，而不仅仅是一时的进修，因为好的工作需要的技能水平也在迅猛提高。

残疾人士

在智能技能的帮助下，残障人士可以迅速克服身体不便。有阅读障碍的学生可利用打印语言阅读软件克服其障碍。

盲人阅读机器也出现了，这种设备只有手掌大小，体型小巧，价格低廉，不仅能阅读纸质书籍和其他打印文件，还能阅读生活中的指示牌、展板上的文字。这些阅读软件同样擅长阅读从无线网络上获得的即时电子文件。

经过十几年漫长的尝试，可用的导航设备终于投入使用，全球定位系统（GPS）可以帮助盲人避开路上的障碍物，转而选择安全的通路。盲人也可通过双声道声音交流与其个人阅读——导航系统互动，就像有了一条会读会说的导盲犬一般。

失聪者或有听力障碍的人士普遍拥有语音转文字倾听机器，能实时将别人说的话进行转换。失聪者可以选择阅读语音转换成的文字，也可选择观看经过转换的手语视频，这些都能解决他们的基本交流障碍。倾听机器还可以将别人的话语实时翻译成另一种语言，所以普通人也可以使用这种机器。

电脑操控的矫形器也问世了。这些“会走路的机器”能让截瘫病人正常走路、爬楼梯。假肢的使用还并未适用于所有的下肢麻痹患者，因为许多瘫痪的病人太久不活动，关节变得不太灵活。但是矫形行走系统的出现避开了关节的使用，能方便和鼓励瘫痪病人活动。

越来越多的人认为失明、失聪和瘫痪并不会造成日常生活障碍，越来越多的残障人士也认为其残障只是行动略有不便。智能技术为人与人之间的平等做出了大贡献。

通信

翻译电话技术（你在电话这头说英语，你的朋友在电话那头听到的是日语，反之亦然）被广泛用于同声传译，这也是个人电脑作为电话使用的常规工作之一。

“电话”交流基本实现无线、高分辨率影像对话。实际地理位置相隔万里的人们可以通过无线电话进行各种大大小小的会议。

通过无处不在的高速无线宽带信息网络的传播，人们至少可以在硬件和支持软件层面上实现电子文件的有效汇集。用户可以在便携个人通信设备上实时下载书籍、报纸杂志、电视广播节目、电影和其他软件。

所有通信方式均数字化并被加密了，由政府部门管理公共密钥。许多个人和包括一些犯罪组织在内的群体会使用单独的一层加密网，无法被他人破解，也没有第三方保管密钥。

触觉技术的出现能让人们“隔空触摸”物和人。游戏和模拟训练系统中也广泛使用了力量反馈型设备。

互动游戏中实现了视觉和听觉的全方位环绕，但全方位触觉环境尚未成熟。虚拟环境取代了20世纪90年代末的在线聊天室，在这里你遇到的人具有全视觉写实性。

人们可以与远距离的人或虚拟伙伴发生性行为，但由于缺乏环境的真实触感，虚拟性行为仍不是主流做法。虚拟性伴侣和性娱乐服务一样流行起来，但仅停留在游戏角色层面。电话性体验则相对更加流行，因为这种电话能使用户看到另一头高分辨率的实时画面。

商业与经济

21世纪初，一些经济学家担心会出现价格紧缩现象，但他们很快意识到这是件好事。高科技业界指出，计算机硬件和软件业多年以来一直存在着严重的紧缩现象，但并没有造成什么危害。

凭借本国文化和企业环境的主流影响，美国仍是全球经济的领导者。由于信息市场很大程度上等于全球市场，美国悠久的移民历史为其提供了巨大的优势。美国人口社会包括世界各地的人种，尤其是那

些冒着生命危险、为了开创新生活来到这片土地的先驱者的后裔们，这对于信息知识型经济来说是一笔莫大的遗产和财富。中国也迅速崛起，成为一个经济强国。欧洲采用了美国式风险投资、员工股票购买权和税收政策以刺激企业发展，比日本和韩国领先了几年，然而这些做法如今已在全球范围内流行起来。

至少一半以上的交易是在网上完成的，智能助理结合了连续语音识别、自然语言理解、问题解决和真人性格的功能，可以帮助人们进行信息检索、回答问题和处理交易。智能助理成了信息型服务互动的主要平台，可提供多种选择。最新民意调查显示，男性和女性用户都愿意将自己的个人电脑智能助理设置为女性形象，最流行的两个智能助理便是哈佛广场咖啡店的服务员玛吉和新奥尔良的脱衣舞女米歇尔。个性化设计越来越受欢迎，成了软件开发中的主要增长领域。

大多数书籍、音乐专辑、影像、游戏和其他形式软件的购买都不涉及实体交易，信息传播产生的新型商业模式也在兴起。我们在购物时“漫步”虚拟商城，比较和挑选感兴趣的商品，快速、安全地进行在线交易，然后利用高速无线通信设备下载购买的信息。获得这些商品的交易方式和等级有许多种，你可以“购买”一本书、一张专辑或一段影像的永久访问权，也可以“购买”这些商品一次或几分钟的访问权，或者可以按分钟计时支付访问租金。可访问的用户可以是一个人或者一群人（比如家庭或公司共享）。同样的，访问权也可限定于某一台电脑，或某一个用户或一群用户使用的任何一台电脑。

工作群体的地理位置趋于分散，即使在不同地方居住和工作，人们也能顺利一起工作。

平均每户家庭拥有超过100台电脑，大部分都内嵌安装在家用电器和通信系统中。家用机器人也已出现，但还未被大众完全接受。

智能道路也投入使用，大部分应用于长途旅行。一旦汽车上的电脑导航系统锁定了高速公路上的控制感应器，你就可以安心地坐在车里享受了。但是本地道路仍以常规道路为主。



印刷业末日来临！

位于密西西比州西部、梅森–迪克森线（即美国宾夕法尼亚州和马里兰州的分界线）以北的一家公司市场资产已超过10亿美元。

政治和社会

隐私已经上升为一个重要的政治问题。无时无刻不在使用中的电子通信技术详细记录下了每个人的一举一动。大量的诉讼案件已对个人信息的广泛散播设定了限制，但政府仍有个人资料的访问权，这也使得不可破解的加密技术流行起来。

随着技能阶梯加速向上延伸，新一轮勒德运动正在掀起。与先前的勒德运动一样，这一轮勒德运动的影响也会被新科技可能带来的繁荣所掩盖，但它成功建立了就业的继续教育体制。

被技能阶梯甩在身后的下层阶级引起了社会的关注，但这个群体的规模似乎很稳定。虽然得不到政界重视，但公众援助和社会整体富裕的大环境使下层阶级愿意在政治上保持中立。

艺术

屏幕的高质量辅以计算机的视觉渲染软件，计算机屏幕成了视觉艺术的理想传递方式。大部分视觉艺术都由艺术家及其智能艺术软件共同完成。虚拟图画（即高分辨率壁挂式展示板）已非常流行。不同于传统图画或海报一张只能展示一幅作品的局限性，虚拟展示板可根据用户口令变化展示图画，或者自动循环播放图画集。展出的图画可以是人类艺术家的手绘作品，也可以是电脑艺术软件实时绘制的新作品。

人类音乐家和计算机音乐家结合在一起，音乐的创作者不仅限于音乐家，更不需要身体通过运动协调使用传统的控制器。电脑音乐创作系统让没有专业知识背景的音乐爱好者们也能利用自动作曲软件进

行音乐创作。互动型大脑生成音乐是另一种流行的软件类型，它可以在用户脑电波和用户倾听的音乐之间产生共鸣。

音乐家普遍使用电子控制器进行创作，它能模拟传统乐器（如钢琴、吉他、小提琴、架子鼓）的演奏风格。除此之外，还有一种新型的“空气”控制器，只需动一动你的手、脚、嘴或身体其他部位，就能进行音乐创作。其他音乐创作控制器的操作需要与特殊设计的设备进行互动。

作家利用语音驱动的文字生成软件写作，语法检测器也十分管用，并且文章、书籍等文字文档的发布也不再需要纸墨印刷。写作风格改进和自动编辑软件也被广泛用于写作质量的提升。与此同时，文字翻译软件也大量被用于将文字作品译成不同的语言。即便如此，智能技术对文字创作的主要过程影响仍不如其对视觉艺术和音乐创作的影响那么巨大。但是，“电脑作家”也在出现。

除了音乐录音、图像和影像，最受欢迎的数码娱乐形式当属虚拟体验软件。这些互动虚拟环境可以让你体验在翻着浪花的湍流中划皮艇，在美国大峡谷中滑翔，或者和你最爱的影星亲密接触。用户也可体验到现实生活中不存在的梦幻场景。虚拟现实的视听体验令人惊叹，但触觉互动仍有局限。

战争

计算和通信安全是美国国防部的首要关注点。人们普遍承认，能有效维持计算资源完整的一方在战争中会占据主动。

人类将撤离战争现场，取而代之的是智能无人飞行装置，这些飞行武器大多只有小鸟般大小，或者更小。

美国仍将是全球独占鳌头的军事强国，其他国家和地区也普遍承认了这一事实，因为他们大多转向了经济力量的竞争。国家之间的军事冲突减少，大部分冲突多半源自主权国家与一些恐怖组织之间的矛盾。国家安全最大的威胁来自生物工程武器。

健康与医药

生物工程疗法降低了癌症、心脏病和其他疾病的死亡率，在理解疾病信息处理方面也取得了巨大的进展。

远程医疗也已普及。医生可以通过视觉、听觉、触觉检查对病人进行远程诊治。医疗设备相对低廉并配备一名技师的健康诊所就可以开到医疗资源相对匮乏的边远地区，对那里的人们进行健康护理。

以电脑为基础的模式识别被应用于图像数据的转译和其他诊断过程中，无创型图像技术的使用也越来越普及。诊断过程通常由人类医生和具有模式识别功能的专家系统共同完成。医生会结合视觉图像展示，与以知识为基础的系统进行双向声音交流，系统会提供自动化向导、最新医学研究成果和实际操作指导。

病人一生的病历都存储在电脑数据库中。于是这些隐私（包括其他个人信息）的访问权成了人们关心的主要问题。

医生在有触控接口的虚拟现实中进行训练，这些系统可以从视觉、听觉、触觉三方面模拟手术等医疗过程。医学继续教育人士、医学专业学生和其他对医生职业感兴趣的人们都能接触到模拟病人，体验当医生的感觉。

哲学

1950年艾伦·图灵在机器智能性测试中提出的图灵测试再次激起了人们的兴趣。试想一下：图灵测试中的一位人类法官通过终端设备同时审问一台计算机和一个人。如果人类法官无法区分哪个是真人、哪个是机器，那么说明机器拥有了人类水平的智能。虽然计算机在测试中未能通过考验，但人们越来越相信，在未来的10~20年中，计算机终将通过测试。

人们对计算机智能的潜在意识进行了一番仔细的研究，而计算机日益显化的智能性也引发了哲学方面的思考。

……嗨，莫莉。

你终于给我打电话了。

没错，这章结束了，但我还未从你那儿得到反馈。

不好意思，我刚和我的未婚夫通完电话。

恭喜！你们认识多久了……

他叫本，我们10年前认识的。

原来是这样。看了我的书写吗，怎么样？

销量还不错。

不，我是说书中做的预测。

并不是很好。比如翻译电话看上去有点可笑，我的意思是它们总是乱七八糟的。

看来你已经用过了？

当然，不然我怎么和我未婚夫的父亲通话，他可是远在比利时伊普勒啊，他又没学过英语。

好的。还有吗？

你提到癌症病患有所减少，但事实上你的预测过于保守。生物工程疗法已经将大部分癌症消灭，尤其是那些抗血管增生的药物，有效预防了毛细血管中生长肿瘤的可能性，癌症也不再是人类健康的主要杀手。注

我不愿意做此类预测，因为人们对癌症治疗抱有太多的期望，许多看似能大有作为的疗法最终都走入了死胡同，所以当时我并不想做出太多的预测。并且20世纪90年代末并没有充足且明确的证据让我做出癌症治疗方面惊人的预测。

其实你故意避开了所有惊人的预测。

没错，我的预测都相对保守，都是根据我能接触到的技术和趋势做出来的。我也发现了一些大有前途的生物工程癌症疗法，但从癌症研究历史来看，我对这些疗法仍不是很有把握。总之，虽然生物疗法也是信息型技术，但本书对此仅是略有涉及。

现在我要说有关性的问题。

其中的健康问题。

是的，你提到虚拟伴侣很流行，但我并不这么认为。

那一定是你的圈子不对。

我的圈子确实很小——很大程度上是因为我一直想让本关心一下我们的婚礼。

跟我说说他是个什么样的人。

他很浪漫，甚至会用纸给我写信。

这确实很浪漫。所以，我打断的那通电话里有什么事吗？

我试穿了他送我的睡袍，我以为他会很喜欢，但他的反应简直让人烦躁。

你继续说。

他想让我的肩带滑落，或者稍稍滑落。但是我在电话里太害羞，没有办法像我的朋友一样在视频电话里亲热。

所以我在这方面的预测对了。

我让他开启了图像转换器。

那是什么？

就是他在那头可以把我的衣服脱下来。

哦，对。电脑可以实时改变你的图像。

没错，你可以改变对方的脸、身体、衣服或其周边环境，或者全换了，但对方对你的行为一无所知。

好吧。

我们订婚那天，本的前女友打电话来道贺，我看见本在电话这头把他前女友的衣服脱了，而对方全然不知，本也不觉得这有什么不好。为此我一个星期没和他说话。

他也只是在电话里这么干。

可谁又知道他前女友在电话那头干了什么。

那就是她的事情了，不是吗？只要双方互相不知道对方在干什么就可以了。

可我不确定他们彼此知不知道。总之，人们即使相隔很远，也会花费很多时间聚在一起。你知道我指什么。

你是说通过显示屏吗？

我们称之为门户网站——你可以从中看到对方，但无法触摸。

我懂了，所以你还是对虚拟性行为没兴趣吗？

就个人来说，是的，对此我只能说很遗憾。但我得为一本有关感官虚拟现实环境的宣传手册写一篇文章。没办法，我在公司职位级别太低，无法自己选择想干的事务。

你亲身试用过产品了吗？

我没有深入体验，但我观察了一番。不得不说他们在虚拟女孩形象上花的心思远比虚拟男孩多得多。

你的宣传活动进行得如何？

产品一上市就失败了，整个市场一团糟。

所以你不可能总是赢得所有人的心。

当然不能，但你有一条预测相当准确，就是我接受了你有关梅森–迪克森线北部那家公司的建议。我可不是在抱怨。

我敢打赌它们的股票涨了。

没错，而且越涨越高。

好吧。还有别的吗？

你对残障人士做出的预测也是正确的。我的同事耳朵聋了，但这根本没造成任何不便。现在没有什么重要的事情是失明者或失聪者无法办到的。

就算在20世纪末他们也能如此。

我觉得和之前不同的是大众也已经理解并接受了这个观念。有了今天的技术，这种情况就更加明显了，而人们的理解和接受更为重要。

当然，没有这些技术的话，人们对残障人士会有许多误解和偏见。

没错。我觉得我得挂了，我在来电显示上看见了本的脸。

他看起来怎么像只圣伯纳德犬。

哦，我开着图像转换器。来，我让你看看他本来的样子。

他看上去很帅。那么，祝你好运。你确实看上去变化不小。

希望如此。

我是说我们的关系变了。

对啊，我又老了10岁。

而且现在换我问你问题了。

……

---

1. 1磅≈0.45千克。——编者注

2. 18家移动电话制造商和其他移动电子生产商共同开发了一种名为“蓝牙”的技术，能在半径10米的范围内实现无线通信，数据传送速率可达每秒700~900千比特。蓝牙技术使得个人通信和电子设备间的简易通信成为可能。

3. 蓝牙等新型技术也使得计算单元、键盘、指针设备、打印机等计算机各个零部件之间的通信摆脱了电缆的困扰，变得更便捷。

4. Microvision of Seattle公司推出了一款名为Virtual Retina Display（VRD）的产品，它能直接将图像投射至用户的视网膜上，同时不影响用户在真实世界的视野图像。Microvision VRD价格仍十分高昂，且只面向军队的飞行员销售。

5. 现预测个人电脑的速度，一台1998年的价值1 000美元的个人电脑可每秒执行1.5×10^8条指令。根据计算每12个月就会翻番的增长速度，到2009年，预计个人电脑每秒执行$1.5\times10^8\times2^{11}$（即2 048）$=3\times10^{11}$条指令。而指令的能力远比不上计算，所以换算下来每秒可进行10^{11}次计算。但是，若对神经计算机的速度进行预测，一台2 000美元的1998年神经计算机可每秒进行2×10^9次神经连接计算，即每1 000美元可获得10^9次计算。由于计算能力每12个月就会翻一番，所以2009年的计算机每秒可进行109×2^{12}（4 096）$=4\times10^{12}$次计算，所以即使25%的计算都为神经连接计算，那么一台1 000美元的计算机可每秒进行约10^{12}次计算还是合理的。

6. 最强大的超级计算机比一台1 000美元的个人计算机要强大2万倍。2009年，一台1 000美元的个人计算机每秒进行10^{12}次计算，那么超级计算机则可每秒进行2×10^{16}次计算，与估算的大脑计算能力相当。

7. 写下这部分内容时，人们对马萨诸塞州波士顿儿童医院Judah Folkman博士的研究以及血管生成抑制剂的作用有了一定的认识。尤其是生物工程制造的抑制毛细血管再生的药物——血管内皮抑素和血管抑素的结合体在小白鼠实验中卓有成效。虽然有人质疑在小白鼠身上起作用的药物在人体内通常无法起效，但该药品能在实验室动物体内起作用就已是突破了，并且在小白鼠体内如此有效的药物通常在人体内实际上也能奏效。

   详见“HOPE IN THE LAB: A Special Report. A Cautious Awe Greets Drugs That Eradicate Tumors in Mice,”New York Times, May 3, 1998.

第十章
2019年：即将到来的技术变革



有能力的人骑上了野象，却也只能随着野象走了。

——伦道夫·伯恩

离龙很近却对其一无所知，那必无益处。

——J·R·R·托尔金

电脑自身

现在的计算机大多是隐形的，它们镶嵌在各处——墙壁里、桌椅中、衣服里、首饰里，还有身体里，无处不在。

人们已普遍将3D[注]显示器内置入镜片或隐形眼镜[注]中。这些“直接针对眼睛”式的显示器覆盖了“现实”环境，从而创造出一个极为真实的虚拟视觉环境。这种显示技术直接将图片投射到人眼视网膜上，所呈现的图像清晰度比肉眼视觉还要高，并且无论是否有视觉缺陷都可使用这一技术。“直接针对眼睛”的显示器可在以下三种模式中运作：

1. 头部定向显示：显示的画面与头部的位置和方向保持相对静止。头部移动时，显示器会相应地显示出现实环境的相关画面。这种模式通常用于与虚拟文件的互动交流。

2. 虚拟现实覆盖显示：头部移动或转到另一侧时，呈现的画面也会滑动，从而保持虚拟的人、物、环境与真实环境（你仍可看见真实环境）的相对静止。因此，“直接针对眼睛”式显示器呈现出一个人的画面时（他可以是一个与你相隔甚远但正与你进行3D可视通话的真实人物，也可是计算机虚构出的一个“模拟”人物），这个投影出来的人物将处于一个特定的位置，这个位置处于你看得见的周边真实环境中。这样一来，当你移动头部时，相对于真实环境而言，投影出的人就显得处于一个固定的位置了。

3. 虚拟现实阻隔显示：它与虚拟现实覆盖显示一样，只是真实环境被阻隔在外，因此，你只能看见投影出的虚拟环境。使用这种模式可以摆脱“真实”的现实，进入一个虚拟现实的环境。

除了视觉光学镜片之外，还有听觉“镜片”，可以在3D环境中的各个位置精确播放高清晰度的声音。这些镜片可以内嵌在眼镜当中，也可安装在人们日常佩戴的首饰里，或是植入耳道。

键盘越来越少见，但仍然存在。大部分同计算机的互动都是通过手势表情以及自然语言的双向口语交流这两种方式实现的。人们同计算机的交流就变得与人类助手沟通一般，既有口头语言，也有视觉表现。此时的人们还着重关注计算机个人助手的个性，并且已经有了很多选择。用户可以以真实人类的性格（可以是自己的个性，也可以是公众人物、亲朋好友身上一些特质的组合性格）为原型设定智能助理的个性。

一般来说，虽然电脑计算非常个人化，但人们不会只有一台特定的“个人计算机”。电脑计算和超高速宽带通信技术随处可见，电缆

已基本被淘汰。

一台4 000美元的计算设备（按1999年的美元价值来计算）计算能力与人脑的计算能力（即每秒进行2亿亿次计算）相当[注]。人类（所有的人脑）及其创造出的计算技术所有加起来的计算能力总和中，有10%以上为非人类的计算能力。[注]

电子设备已完全取代了回转存储器和其他机电计算装置。3D纳米晶格已普遍运用于计算电路中。

计算机的大部分“计算”都归功于大规模的并行神经网络和进化算法。

基于扫描的人脑逆向工程取得了巨大进步。人们现在都认为大脑是由多个特定区域组成的，每个区域都有自己的拓扑结构和神经元间的连接构造。人们也开始慢慢理解大规模并行算法，并已将这些结果运用于基于机器的神经网络设计中。同时，人们还认识到，人类遗传密码并没有明确规定这些区域内的神经元连接方式，而是建立了一个快速进化的过程，使神经元间建立连接并互相竞争，寻求生存。基于机器的神经网络连接建立的标准进程使用的方法类似于进化算法。

一种利用量子衍射装置、由计算机控制的新型光子成像技术出现，其使用的微型装置取代了大部分镜片，可探测到任意角度的光波，由此制造的针孔大小的摄像头也随处可见。

自主纳米工程机器可自行控制其移动，并装有强大的计算引擎。这些微型机器开始投入商业使用，尤其是制造业和过程控制领域，但仍未成为主流。

教育

手提式显示器越来越轻薄，重量仅有一盎司[注]，且分辨率极高。人们可使用手提式显示器阅读文件，或者更为常见地使用无处不在的“直接针对眼睛”显示器将文本投影到虚拟环境中阅读。纸质书籍和文件已很少见，也很难获得。大部分20世纪有价值的纸质文件已被扫描，人们可通过无线网络获取这些资料。

大部分学习虽然由基于智能软件的仿真教师完成，而教学依然由人类教师完成，但这些人类教师通常不和学生住在同一片区域。教师更多地被视为导师或者是顾问，而不是学问和知识的来源。

学生们的实际地理位置虽然相距很远，但仍常聚在一起交流想法或进行社交活动。

所有学生都用上了计算机。由于到处都是计算机，所以基本没有哪个学生没有自己的计算机。

大多数上班族利用他们的大部分时间来学习新技能，获取新知识。

残障人士

盲人普遍用上了安装在眼镜上的阅读导航系统。这种系统包含新型数码操控的高分辨率光感器，可以阅读真实世界里的文本，不过既然大部分印刷文字文档都有了电子版，文字转换为语音的阅读已经很少使用了。这些系统的导航功能兴起于10年前，发展至今已相当完善了。这些自动化阅读导航助手可通过语音和触觉指示器与盲人用户交流，甚至很多视力正常的用户也在使用这些系统，因为系统可以呈现出高清晰度的虚拟世界。

视网膜和视觉神经移植手术已经出现，但仍有局限性，仅有一小部分失明者接受了这类手术。

失聪者则通过失聪者专用镜片显示器来阅读别人说的话。有些系统可以将音乐等听觉体验转换为视觉和触觉体验，但由此产生的体验与有听力的人感受到的体验相差多少，仍存在争议。改善听力的耳蜗和其他耳朵内部的构造移植手术技术已卓有成效，并已得到广泛使用。

截瘫患者和四肢瘫痪者通常将计算机控制的神经仿真系统与骨骼机器人装置结合使用，来行走或者爬楼梯。

总的来说，失明人士、失聪人士和截瘫患者的这些问题将不再那么明显，也不再会被当作大问题。

通信

你可以忽略实际位置的远近同任何人做任何事，完成这件事所需的技术很简单，而且无处不在。

“电话”呼叫一般通过“直接针对眼睛”的显示器和听觉镜头，投射出高分辨率的3D图像，3D全息显示器也已出现。不管使用哪种通信方式，用户都能感觉对方好似近在咫尺。投射图像的分辨率与人类最佳视觉能力相比有过之而无不及，如此一来，人们会无法区分近在眼前的是电话那头的人，还是仅是电子通信设备投射出的影像。大多数“会议”都已不要求大家亲临现场了。

一般可用的通信技术还包括高质量语音对语音的语言翻译，可用于大部分常规双语转换任务。

通过无处不在的通信网络，我们可以阅读书籍、报纸杂志及其他网络文件，可以欣赏音乐、观看3D动态影像（如电视、电影）、进行3D可视通话、进入虚拟环境（可只身进入，也可与远在别处的人一起），甚至可以将上述活动任意组合进行，并且整个过程中无须穿戴或植入任何设备、装置或者物体。

全方位覆盖式触觉环境已得到普及，并且效果十分逼真，其分辨率相当于甚至高于人类的触觉，还可以模仿（并刺激）触觉的各个特征，包括压力、温度、材质以及湿度。虽然虚拟现实的视觉和听觉体验只需要你身上或体内的装置（“直接针对眼睛”式镜片和听觉镜片），但“全方位触感”的触觉环境需要进入一个虚拟现实小隔间中。这些技术不仅在医疗检查领域很受欢迎，还可以用来与人类伙伴或仿真人类进行感官或性交流体验。事实上，即使人类伙伴就在身边，人们也更倾向于这种交流模式，因为它在加强体验性的同时也保证了安全性。

商业和经济

经济仍保持着迅速扩张和繁荣的态势。

大部分交易中都有一个仿真人，仿真人个性生动逼真，还具有配备高质量自然语言理解力的双向语音交流能力。一般来说，没有真人参与其中，因为每个人都有自己的自动个人助手代表自己和其他自动助手完成交易。这样一来，助手们就绕过了自然语言理解环节，直接通过交换相应的知识结构进行交流。

家用机器人普遍存在而且非常可靠，可以做清洁工作或者其他家务。

自动驾驶系统也相当可靠，而且几乎所有道路都安装了该系统。人类仍可以在当地道路上驾车（虽然不允许在高速公路上驾车），但自动驾驶系统总是参与其中并随时待命，准备接替人类完成驾驶，以防发生事故。采用微型副翼的高效个人飞行器已进行过演示，主要由电脑操控。现在已几乎没有交通事故了。

政治和社会

人们开始和自动仿真人物建立关系，把它们当作同伴、老师、监护人或者情人。某种程度上来说，自动仿真人物要优于人类，比如，他们的记忆力更可靠，而且，如果你愿意，你可以预测（并编程设置）它们的性格。它们的性格仍不及人类那般灵巧细致，但关于这一点人们的意见也大有不同。

人们对于机器智能的影响力还有一些潜在的顾虑。人类和机器的智能之间一直存在差异，但是人类智能的优越性变得越来越模糊且难于言表。计算机智能详尽细致地融入了人类文明机制，但单从表面来看，它们的设计仍明显受控于人类。一方面，即使人类的交易和决策由机器智能全权操作执行，但法律上仍需要一个人类的责任代理人；另一方面，没有机器智能的参与，没有机器智能提供的意见，人类也几乎做不了任何决策。

公共场所和私人空间一般都有机器智能监控，以防出现人类之间的暴力。人们试图用几乎不可破解的加密技术来保护隐私，但隐私仍然是主要的政治和社会问题，因为每个人一举一动的信息都储藏在某处的数据库中。

社会底层的存在仍是一个问题。虽然当下充裕的财富能保障基本需求（确保住房和粮食），不会给经济造成明显负担，但有关社会责

任和工作机会的争议依然存在。与此同时，越来越多的工作都对雇员自身的学习能力和技能获得提出了要求，这就使问题变得更为复杂了，因为我们很难对那些“高产的”社会参与者和那些不怎么活跃的参与者做出区分。

艺术

所有艺术形式中的虚拟艺术家们不断涌现，并受到人们的重视。这些计算机视觉艺术家、音乐家和作家通常隶属于人类群体或组织（由人类和机器共同构成），这些人类群体或组织已经向计算机系统贡献出自己的知识库和技术。然而，比起对这些富有创造力的机器产生的新鲜感，人们更热衷于这些机器创造产出的艺术作品。

由人类艺术家创作的视觉、音乐以及文学艺术一般都是人类和机器智能结合的产物。

需求量最大的艺术和娱乐产品（根据所产生的税收衡量）仍是虚拟体验软件，其种类有“真实”环境的仿真体验，也有与现实世界毫无关系的抽象概念型环境，内容极为丰富。

战争

安全的最大威胁来自结合了人类智能和机器智能的小组，因为他们使用的是不可破解的加密通信技术，包括使用病毒软件干扰公共信息频道，以及通过生物工程制造病原体。

大多数飞行武器的体积很小，有的只有昆虫般大小，人们正在研究微观飞行武器。

健康与医药

人们现在能理解十多年前被破译的人类基因组中许多生命进程编码，也对造成如癌症、心脏病等身体老化与退化问题的信息处理机制有了了解。作为第一次工业革命（即1780~1900年）及第二次工业革命初期（即20世纪）的成果，人类预期寿命从不到40岁到今天的80岁，翻了一番，现在还在大幅增加，并超过了100岁。

人们逐渐认识到广泛利用生物工程技术的危害。只要具备普通研究生水平的知识和相应的设备，任何一个人都能制造出具有大规模杀伤潜力的病原体。从某种程度来看，生物工程的抗病毒治疗能抵消这种潜力，然而这种平衡极不稳定，这也是国际性安全组织的一大关注要点。

计算机化的健康检测器也已广为使用，它内置在手表、首饰及衣服中，可以诊断急性和慢性健康状况。除了具有诊断功能之外，这些检测器还能提供各种治疗建议和措施。

哲学

已有很多关于计算机成功通过图灵测试的报道，虽然这些实例还没有达到博学的学者们制定的标准（包括人类判断的复杂性、面谈的时长等）。人们一致同意计算机还未能通过有效的图灵测试，但对于这一点的争议也越来越多。

人们已经严肃讨论过基于计算机的智能主观体验，但机器智能的合法权利还未进入主流辩论。机器智能在很大程度上仍是人类与机器之间的合作产物，而且在编程中已被设定服从于其创造者。

好了，我来了。不好意思，10年前有点分心。

没关系，你还好吗？

挺好的。虽然很忙，不过也挺过来了，最近正在筹备我儿子的10岁生日派对。

这么说，上次咱俩谈话的时候你已经怀孕了。

那时候还看不出来，不过在婚礼上人们注意到了。

你的孩子怎么样？

还不错，不过杰里米还有很多要学的。

这很正常。

好吧，上周我发现杰里米和一个年长的女人在一起，年龄跟我差不多，最关键的是，她看上去衣衫不整。

啊，真的吗？

结果那是他四年级的老师。

天呐，她在干吗？

其实是杰里米之前请过病假，所以她正在给他布置家庭作业。

衣衫不整地布置？

哦，她并没意识到这一点。

当然，我忘了是图像转换器的缘故。

他本来应该用不了这些转换器的，显然他从朋友那里弄了一个“儿童锁定”重载程序，但他不肯说出这个朋友是谁。

有些事情永远不会改变。

我觉得现在我们又重新启动了“锁定”程序。

那你和他的老师谈这件事了吗？

西蒙小姐？当然没有。

你惩罚他了吗？

我们家绝对不容忍激活“儿童锁定”重载程序。他现在一个月都不许接近“感觉体验馆”。

听上去确实挺严重的。感觉体验馆？是虚拟现实的东西吗？

事实上，感觉体验馆是我们拥有的一个“全方位触觉环境”的品牌名，是改进了嗅觉技术之后的新模型。对于那些仅仅有视觉和听觉的虚拟现实——使用镜头花费的时间已经够多了，没必要再用其他特殊的东西。

那么他在“感觉体验馆”里面做些什么呢？

做搏击操、打银河摔跤的游戏等一些10岁的小孩儿都会做的事情。最近，他在玩扮演医生的游戏。

哦哦，他听上去有点儿早熟。

我觉得他就是在挑战我们的耐心。

那西蒙小姐这件事，也是在“感觉体验馆”当中发生的？

不，是在虚拟现实电话当中发生的。杰里米当时在厨房，他让西蒙小姐坐在餐桌上。

如果他是通过虚拟现实镜头看见西蒙小姐的生成图像，那你是怎么看见西蒙小姐的？

是这样，孩子14岁之前，我们有权进入孩子的虚拟现实环境。

我明白了，所以你同时处在你自己的和孩子的虚拟现实环境当中？

没错，别忘了还有真实环境，但这不是说虚拟环境不真实。

看见、听见不同的环境重叠在一起，难道不会感到困惑吗？

我们听不见孩子的虚拟现实环境，那里面的噪声会非常大，而且孩子也需要自己的隐私。我们只能听见真实现实和我们自己虚拟现实环境中的声音。并且，我们可以在孩子的虚拟现实中随进随出，当我进去的时候，就看见了西蒙小姐。

他还因为别的事情遭受过惩罚吗？

三个月前，我发现他正在锁定儿童虚拟现实通道。我觉得他这一招也是从同一个朋友那里学来的。

我不确定到底该不该怪罪他，换作我也不会让我母亲整天来虚拟现实环境里监视我。

我们也不是整天监视他，只是有选择地看一下。但现在的时代你不得不了解孩子们的行踪。我女儿艾米莉就没有这样的问题。

她……

上个月刚满6岁。她很乖巧，只喜欢读书。

6岁就喜欢读书，真不简单。她都是自己读吗？

怎么这么问？不然怎么读？

你们可以读给她听。

有时我也会这么做。但艾米莉觉得我读得不够亲切。所以她喜欢“河马哈里”读给她听，他完全按照艾米莉的意愿读出来，从不顶嘴。

我猜，这一切都是在虚拟现实里发生的吧？

当然。我可不会让一只真正的河马坐在我的餐桌上。

也不会让衣衫不整的西蒙小姐坐在那儿。

那这样的话餐桌确实会非常拥挤。

所以，河马哈里给艾米莉读书的时候，她照着虚拟书本看？

她也可以自己跟读，或者打开文本高亮功能。孩子会让自己最喜欢的虚拟朋友给自己读书，然后一边看着高亮的文本。然后渐渐不需要高亮功能，最后就不再需要河马哈里了。

听上去就像骑自行车的小孩最后拿掉了辅助轮。

没错。现在让我感到安心的一件事就是，我总能知道孩子们在哪儿。

在虚拟现实里吗？

不，我现在说的是真正的现实。比如，我可以看见杰里米在两个街区以外正朝这个方向走来。

用内置芯片？

这是个很合理的猜测，但其实并不是芯片，是第一代实用纳米技术应用之一。这种东西是可以吃的。

吃的东西？

没错，它是一个面团，尝起来特别美味。里面有几千个小计算机——我们把它们叫作追踪器，它可以进入你的细胞然后发挥作用。

有些一定会排出体外。

没错，那些远离了留在体内追踪器的追踪器会自动关闭。而留在人体内的计算机会彼此联系，并和网络保持连接。

无线网络？

是的，到处都是无线网络。所以我总是知道孩子们在哪儿。不错吧？

每个人都有这种装置吗？

孩子们被要求必须带有这种装置，所以，我想最终每个人都有。很多成年人也有，不过如果愿意的话，他们可以锁定追踪传输器。

小孩不可以？

我们不让孩子们有机会接触锁定追踪功能。

所以，杰里米还没有接触过任何锁定追踪的软件？

我当然希望他没有。不过，说到这一点，去年我们确实有一个追踪器失效了。技师说这是暂时的协议冲突导致的。我怀疑这是杰里米干的，现在你可真提醒我了。

我怀疑杰里米确实会做这样的事。

你说得对。

技师是人类吗？

不是，这个问题并没那么严重，只用了一个B级水平的技师。

我明白了。那么，是不是你丈夫接入追踪系统了？

是的，但是他经常锁定，这一点真讨厌。

男人应该有点自己的隐私，你说呢？

当然。

还有其他想和我说说的亲戚吗？

我有一个25岁的外甥，叫史蒂芬，有一点儿孤僻，我姐姐很担心他。他几乎把所有的时间都花在“全方位接触环境”或者“虚拟现实锁定模式”里了。

这有什么不妥吗？

他不单单把真实环境隔离在外，而且似乎完全避免与真正的人类接触，甚至在虚拟现实里也不和人类接触。这种问题好像越来越普遍了。

我想，大概仿真人越来越随和了吧。

是的。我自己的助手和伙伴就是这样，但是与其他人的助手接触的时候就是另一回事了。总之，我姐姐告诉我，她认为史蒂芬就是一个电脑处男还是虚拟处男来着？

这二者又有什么区别呢？

是这样的，电脑处男是指从没在虚拟现实以外有过性行为，而虚拟处男是指从没和真正的人类发生过性关系，就算在虚拟现实里也没发生过。

但从来没和真人或仿真人在真实环境或虚拟现实中发生过性关系的人呢？叫什么？

呃，对这样的人，我们还没有一个专门的称谓。

那么这一方面的统计数据是多少？

等等看，乔治会帮我们统计出来。

乔治是你的虚拟助手？

没错，你理解得还挺快。

谢谢。

25岁以上的成年人中，有11%是虚拟处男，19%是电脑处男。

那么，虚拟性爱变得越来越流行了。你和本是什么情况？

我当然更喜欢真实体验！

是在……

没错，是在真实环境里的。

所以，你更喜欢真实环境里的亲密感，但也不回避虚拟的亲密感？

没错。我是说我们并不会刻意回避。当然，如果我出门在外的话，这样会很方便，而且也不用担心避孕问题。

还有性传播疾病。

这都不是问题了。

这可不好说。

好吧，老实说，从很多方面来看，虚拟性爱更令人满意。它绝对更激烈，而且令人难以置信。

这大概也是在“感觉体验馆”里吧。

没错。最近的模型真的已经解决了嗅觉问题。

你是说它有嗅觉体验？

是的。不过这和其他感官有点不同。有了视觉和听觉，即便是普通的常见虚拟现实也会变得异常敏锐。在“感觉体验馆”里，我们有了触觉环境，这也提供了非常逼真的反应。但还无法体会嗅觉。所以，“感觉体验2000”程序中包含了气味，你可以自行选择，也可以在体验当中开启自动选择。效果还是不错的。

你对你的丈夫和一名虚拟伙伴做爱怎么看？

你是说，在虚拟现实里和一个虚拟的人？

对，在虚拟现实当中或者在“感觉体验馆”当中。

这没什么，我对这一点没有意见。

你不介意？

其实我也发现不了。

发现不了他衣领上的虚拟唇印？

是啊，他的虚拟衣领。现在人们已经普遍接受了和仿真人进行虚拟性爱的行为。人们把它当作一种幻想——一种辅助的幻想。

如果他和虚拟现实里的真人做爱呢？

那我会打断他的腿。

虚拟的腿？

我可不这么想。

虚拟环境里的真人和仿真人之间的区别是什么？

作为性爱的对象？

是的。

区别就是——仿真人虽然非常棒，但感觉就是不一样。

听起来好像你有亲身体会。

你也太爱管闲事了吧？

好吧，那我换个话题。让我们聊一聊加密技术现在怎么样了？

现在我们有非常稳定的千字比特密码，不太可能被破解。

量子计算机也不行吗？

超过几百个Q比特的量子计算机似乎还不太稳定。

听上去通信系统十分安全。

我觉得是这样，但还有一些人偏执于第三方密钥。

这么说官方机构有密钥？

当然。

好吧，难道不能在官方的控制之外再加一层没有密钥的密码吗？

天啊，不行。

为什么不行？

从技术上来说并不难，但这是违法行为，2013年10月开始法律有了明文规定。

2013年？

我们平安无事地度过了21世纪的前10年，但“俄克拉荷马事件”之后事情就有点失去控制了。

又是俄克拉荷马，是软件病毒造成的吗？

不，不是软件病毒，是生物病毒，是一个满腹不平的学生干的——我觉得他精神错乱，其实他以前是俄克拉荷马州的一个学生。有

报道说他和“记住约克活动”有关，但该运动的领导人否认了这一点。

“记住约克活动”？

对，这个事件发生在约克审判200周年纪念日那一天。

你是说1813年勒德分子的审判？

是的，只是最反对技术的人不再喜欢“勒德”这一称呼了。他们觉得内德·勒德的信条有点傻，有损这场运动的严肃本质。此外，我们有充分的证据证明压根儿就没有勒德这个人。

但1813年确实有审判。

没错，当时绞死又流放了很多被起诉破坏纺织机的人。

所以记住约克活动是一次有组织的运动？

哦，我不这么想。它更像是一个网络讨论组，显然这个年轻人曾经参加过其中一些讨论。但这场运动中的人们基本采取的是非暴力手段，所以他们很不满罗伯茨说自己和他们是一伙的。

罗伯茨是行凶的人？

是的，各项指控都成立，除了这位心理失常的人以外，我觉得这其实是BWA干的。

BWA?

生物战争机构。

所以，这是某种病毒的爆发？

没错，只是一个典型的加强版流感病毒，不过事情有点儿奇怪。这种病毒的突变率激增，在几阶段都加速了进化。其中一种形式的病毒只会在感染时发作。该病毒加上其DNA中的定时炸弹程序，会在被感染几个小时后引发超速病毒繁殖，这小小的复杂变化让解毒剂的开发晚了48个小时。但这还不是最糟糕的部分。在解毒剂复制24小时后，BWA发现另一种生物制剂感染了这批药物，他们又得重新开始。但他们已没有足够的复制载体了，所以不得不把用过的复制载体清理掉，再从头开始。在这次惨败中浪费了48个小时，1.6万人不幸丧生。如果再拖延24个小时，也许情况会更严重。这是2014年中期选举的大事，后来就发生了很多变化。

第三套密钥呢？

哦，这些密钥以前也有。但自从2013年起，就开始通过法律来禁止无密钥加密的安全码了。

还有什么变化？

现在有很多抗病毒复制工作站，我们都有这种可爱的防病毒小面具。

这个小环是防病毒面具？

是的，打开以后是这样的。它很小，所以我们总是将它关闭后随身带着。其实这是一个防病毒面具。有时我们会被要求戴上面具，但一般只戴几个小时。2013年后，总会出现一些假警报。

我想安全部门一定在很努力地工作吧。

就像威尔·罗杰斯（Will Rogers）曾说的那样：“你不能说文明没有前进，因为在每一场战争当中，敌人都会用新方法杀死你。”

2013年听起来挺悲催，也很恐怖。不过，随着时间的流逝，你们所做的也会显得没那么糟。在20世纪，我们就知道如何拥有灾难。

没错，在“二战”中死了5 000万人。

是的。

21世纪确实没发生过什么流血事件。但另一方面来看，现在的技术太过强大了。如果出了什么错，事情很快就会失去控制。就拿生物工程来说吧，就好像我们100多亿人正站在一间屋里子，屋里子满是及膝的易燃液体，就等着什么人——任何一个人划火柴了。

感觉好像已经安装了很多灭火器。

对，但求它们都能正常使用。

我一直很担心，这十多年来生物工程总出现负面作用。

但你并没有在《机器之心》这本书中提到这一点，那可是你20世纪80年代末的作品。

我是有意为之的，因为我不想给坏人任何启发。

那在1999年呢？

那时木已成舟了。

最近几十年我们一直在尽力避免这些负面作用，避免引起太多伤害。

一直等到纳米病毒的爆发。

幸运的是，这些病毒不能进行自我复制。

目前还不行。

我觉得这件事也会发生，但追踪器面团和其他一些纳米技术应用正被用于X射线光刻和其他传统制造技术。

好吧，灾难已经够多了，你今天晚上干什么呢？

我准备就上星期做图灵测试裁判的事做一场演讲。

计算机是不是又没通过测试？

没错。但也没我想象的那么惨。刚开始我想，天呐，这比我预想的困难多了。我根本分辨不出到底哪个是计算机，哪个是人类。20分钟后答案就很明显了，而且我的时间还很充裕，有的裁判还是一无所知，但他们不太会变通。

大概是你的通信背景知识帮了忙。

事实上是我作为一名母亲的知识帮了忙。当希拉——她是一台计算机，开始谈论她对自己的女儿有多生气时，我就有点怀疑了。我不相信她的话，因为她毫无怜悯之心。

乔治呢？他在图灵测试中表现得怎么样？

哦，我可不想让乔治做这种测试。

你在意他的感受？

我猜你也会这么说。我有一点犹豫，有时又不会。但当我与他交流的时候，我发现自己表现得好像他有感觉一样。有时，我想同他说一些曾经经历的事，尤其是我们一起工作的时候。

我发现你挑选了一名男性助手。

没错。你曾经预言说女性更喜欢女性陪伴，这一点又预言错了。

那个预言是针对2009年的，而不是2019年。

我很高兴你澄清了这一点。设想一下，2009年我确实使用了一位女性助手，但那时的她们还不那么真实。总之，我要准备我的演讲了，如果想起来什么趣事要告诉你，我会让虚拟助手联系你的。

嘿，我还没有虚拟助手呢。别忘了我还活在1999年。

真糟糕。那就只能我亲自去拜访您啦。



“尺寸更小、功能更强大的芯片可以让我的脑袋也更小一点儿。”

1. 3D即三维立体。——编者注

2. 1盎司≈28.35克。——编者注

3. 参见第九章第三条注释。

4. 1997年，一台价值2 000美元的神经计算机每秒可进行2×10^{9}次神经连接计算，到2019年会翻2^{22}番，即价值2 000美元的计算机每秒可进行8×10^{15}次计算，4 000美元的计算机每秒可进行1.6×10^{16}次计算。到2020年，2000美元的计算机每秒可进行1.6×10^{16}次计算。

5. 人脑每秒能进行10^{16}次计算，且预计人口数量为10^{10}，因此，全球人脑总计算量为10^{26}。1998年，全球约有10^{8}台计算机，保守估计，到2019年将有10^{9}台计算机，且这些计算机都采用1 000美元可达到的最顶尖技术，如此一来，所有计算机的计算总量为每秒$10^{9}\times10^{16}=10^{25}$次，是人脑总计算量的10%。

第十一章
2029年：人类与机器之间鸿沟不再



我和其他人一样珍爱自己现在的身体，但如果给我一个能活到200岁的硅制身体，我将会欣然接受。

——丹尼·希利斯

电脑自身

一台1 000美元的计算机（以1999年美元价值为标准）的计算能力相当于大约1 000个人脑（每秒2×10^{19}次计算）。

人类（也就是人脑）及其创造出的计算技术，所有这些加起来的计算能力总和中，非人类计算能力占99%。[注]

非人类计算能力大部分来自大规模的并行神经网络，这些神经网络大部分都是根据人脑的逆向工程建造而成。

人们已经破解了许多——但非大多数人脑特定区域的工作原理，并已转译了其中的大规模并行运算模型。特定区域的数量增加至数百个，比20年前预期的多得多。人们成功建造出这些区域的拓扑结构和

构造的逆向工程，并将其运用于机器神经网络。基于机器运行的神经网络与人脑神经网络相比，速度更快，运算和存储能力也更强大，在许多其他方面也有所改进。

显示器现已植入眼部，人们可选择永久型植入或可卸型植入（和隐形眼镜类似）。图像被直接投影至视网膜上，能呈现出高分辨率的3D真实世界画面。这些植入视觉显示器还具有照相功能，能捕捉视觉画面，所以它们既是输入装置也是输出装置。

原本专为听力障碍者使用的耳蜗植入器也已普及开来。这些植入器能提供双向听觉交流体验，在人类用户和全球计算网络间建立起连接。

直接神经通道也已完善，它能以高速宽带的方式与大脑连接。这项技术避开了人脑特定的神经区域（如视觉模式识别、长期记忆），用神经移植或外部运算的方式加强或代替原有区域的功能。

人们也可获得各种不同的神经植入器，进一步强化其视听的感知、理解、记忆和逻辑能力。

运算过程可以个人专有（只有自己才能访问）、组群共享（某一群体可访问）或公开共享（所有人均可访问），可见范围全由用户决定。

3D全息投影也已随处可见。

微观纳米工程机器人有了自己的微型大脑，计算速度与能力已经和人脑相当。这些纳米机器人被广泛运用于工业机器，正逐步向医药器械推广（见“健康与医药”部分）。

教育

人类学习基本都由虚拟教师进行教学，知识的巩固也由神经植入器完成。这些植入器提高了记忆力和感知力，但还无法将知识直接下载到大脑。虽然虚拟体验、智能互动指导和神经植入器大大强化了知识的掌握度，但学生仍需要花费大量时间体验和钻研。学习也成了最主要的人类活动。

自动代理器可以自主学习，不再需要人类一点一点地为其灌输信息和知识。电脑已读完了所有可读的人类和电脑创作的文学作品及其他多媒体资源，包括文字、视听作品和虚拟体验作品。

机器创造出了许多新的知识，其中几乎没有人类的参与。不同于人类，机器间可以便捷分享各自的知识结构。

残疾人士

为失明者设计的高度智能视觉导航设备、为失聪者设计的语音转换文字设备、神经刺激设备、为肢体残疾人士设计的智能矫正假体以及其他各种神经植入技术已普及，这大大减少了残障人士身体上的不便。事实上，大多数人都会使用感官加强设备。

通信

除了随处可见的3D虚拟环境，虚拟通信的3D全息投影技术也有了很大的改进。还有投影式声音通信技术，能将声音准确分布在3D空间中。与虚拟现实相似的是，许多现实中的所见所闻并无实体的对应物。所以，家庭成员们即使相隔很远，也可以围坐在客厅里相互陪伴。

此外，直接利用神经连接的通信技术也已广泛使用。不同于10年前，当下的虚拟全方位触觉通信技术已不需要再进入“全触觉密闭环境”了。

大部分通信不再需要人的参与，即使涉及人类，也是人类与机器之间的交流。

商业与经济

人口增长趋于平稳，实际人口大约为120亿。大部分人类都有了食物、住所和安全等基本需求的保障。

人类和非人类的智力都主要集中于创造各种形式的知识，同时，在知识产权方面也有许多纷争，诉讼也就前所未有地多了许多。

生产、农业和交通产业中不再有人类的身影，教育机构成了人类工作的主要场所，律师的人数也远超医生从业者。

政治和社会

计算机似乎能够通过不管是人类还是非人类权威认证的图灵测试，但在这一问题上仍存在很大争议。如今，很难找出人类具有而机器不具有的能力。人类的能力因人而异，而计算机却总能处于最佳状态，且能与其他计算机共享自己的能力和知识。

人类和机器之间的鸿沟不复存在。人类的认知能力也正在向机器输送，所以许多机器已经具备了由人类智力逆向工程发展而来的性格、能力和知识。以机器智能为基础的神经植入器也正反过来为人类

提供认知和感知功能。对于人类社会构成的定义也成了法律和政治性问题。

机器能力的迅速提高也引发了争议，但无有效的应对措施。由于机器的智能在设计之初就被设定为受控于人类，所以目前它们对人类还未造成任何威胁。人类也意识到使人类——机器文明完全摆脱机器智能是无法实现的。

人们越来越多地讨论起机器的合法权利，尤其是那些独立于人类存在的机器（即非大脑植入型机器）。虽然还未正式合法化，但机器在各个层面的决策制定中产生的广泛影响对其自身的存在起到了重要的保护作用。

艺术

音乐、视觉艺术、文学、虚拟体验等各个艺术领域的计算机艺术家不再需要依靠人类群体或组织而存在。许多杰出的代表性艺术家都是机器。

健康与医药

由于对基因密码控制的信息处理过程有了更全面的了解，人们在理解和改善衰老的问题上取得了持续性进展。人类预期寿命延长，现在大约在120岁。与此同时，随着人类寿命周期的延长，由此引发的心理问题也得到越来越多的关注。

人们逐渐意识到人类的延寿会涉及仿生器官的运用，包括大脑的组成部分。纳米机器人成了侦察员，在特定范围内也是血液中的维修

工，同时还是仿生器官的建造材料。

哲学

虽然计算机已能熟练地通过各种有效的图灵测试，但这是否代表机器智能在各个领域已能与人类智能相提并论，对此仍无一定论。与此同时，机器智能实则在许多方面的表现明显优于人类智能。但出于政治敏感性，机器智能的优越性仍无法被提及。人类和机器智能之间的界线越发显得模糊，因为机器智能越来越多地源于其人类设计者的智能，而人类智能也因为机器智能得到了更大提高。

机器智能的主观体验逐步被接受，尤其是因为“机器”也参与了这场讨论。

机器们声称自己有了主观意识，有了和人类一样丰富的情感和心灵体验，并且它们的这些宣言大部分都已被人们接受。

我希望你很享受做这些预测的过程。

这部分内容确实写来更有趣——至少这部分要查找的文献更少，并且在未来至少几十年里我都不会感到尴尬。

或许你让我谈谈我对这部分的印象会更容易些。

我正要问你呢。但我必须插一句，你看上去气色真不错。

对于一个上了年纪的老太太来说是不错。

我可没觉得你老，你一点也不像快50岁的人，也就35岁吧。

你说得没错，但现在的50岁已经不像以前那么显老了。

我们在20世纪末就已有了这种感觉。

饮食健康仍然很重要，但我们还有你们那个年代没有的方法来保持年轻与活力。[注]

你是指纳米工程制造的身躯？

不，不是，因为纳米技术仍然很有限，生物工程才是帮了大忙。人类衰老的速度大大减缓，大部分疾病都已能预防或逆转。

所以纳米技术仍相对处于起步阶段吗？

我认为是的。虽然我们已经做到了在血液里植入纳米机器人，但它们只是起到了诊断检测的作用。所以一旦身体某个部位出了问题，我们就能尽早发现。

那如果纳米机器人发现了微观层面中有感染或其他问题，它会怎么告知人们？大声喊叫吗？

没错，就是这样，我不认为它还能用其他的方法。纳米机器人会在网络上发出警告，然后在我们下一次进行日常扫描时再解决这些毛病。

是3D扫描吗？

当然，我们的身体依然是3D的。

那是诊断式扫描吗？

扫描具有诊断功能，但也能进行治疗。扫描仪可以将足够的能量集中到一小块3D区域，在这一块病原体或其他致病细胞扩散前，将其集中消灭。

是发出了一束电磁能量束，还是离子束，还是别的呢？

关于这一点，乔治可以比我解释得更清楚。在我看来，扫描仪发出了两束单独的能量光，这两束光交汇时释放出粒子。我下次遇到乔治时可以请教一下他。

那得等到什么时候？

和你聊完之后。

你不是在催我赶紧结束谈话吧？

哦，这不着急。耐心一点总是好的。

所以你俩上次在一起是什么时候？

几分钟之前。

这样啊，看来你们的关系有了进展。

没错，他很照顾我。

上次我们谈话时，你还不确定他对你是否有感觉。

那还是很久之前了。乔治每天都不太一样，也一直在成长和学习。他会从网上下载任何他想了解的知识，并且这些知识已经成了他的一部分。他很聪明也很认真，做事很专心。

我真为你高兴，但是本怎么看待你和乔治？

只能说他还不至于发疯。

你已经对他没感觉了？

我们双方都已经想通了。何况我们三年前就分手了。

我很遗憾。

是啊，相比现在的婚姻来说，17年已经很长了。

孩子们肯定很难过吧。

是的，不过我们每天会陪艾米莉吃晚饭。

你们两个单独陪她，不是一起对吗？

艾米莉当然不希望和我们两个人同时吃饭，那肯定不会舒服自在的，所以她每次都和我们单独吃饭。

我懂了，还是那张老餐桌。这样你就不用和哈里河马或西蒙小姐打交道了，你和本还有艾米莉都有了各自的空间，但你和本不必碰面。

虚拟现实很棒，不是吗？

没错，遗憾的是人们不进入感官系统中就无法互相触碰。

事实上，感官系统停产了。

好吧，那就是完全式触摸环境。

自从中枢神经植入器出现之后，我们就不再需要进入完全式触摸环境了。

所以这些植入器增加了触觉环境……

没错，为我们多年以来拥有的虚拟现实添加了视觉和听觉环境。

听起来不错，那这些植入器必然很受欢迎。

并没有，它们还相对较新。现在几乎每个人都会有视觉和听觉环境了，不管是植入器创造的还是视听镜头营造的。但触觉植入器技术还没有跟上。

但你已经有了？

没错，它太神奇了。虽然有些小毛病，但我喜欢走在时尚的前沿。使用完全触摸式环境实在是太麻烦了。

现在我能理解植入器如何模拟触觉了——通过刺激一系列触觉刺激物对应的神经脉冲。但是完全式触觉环境可以提供力量反馈，所以你在触摸虚拟人物时，不会产生手穿过其身体的情况。

那是当然，但我们在虚拟现实中实际的身体是不动的——

动的是你的虚拟身体。并且在虚拟环境中，虚拟现实系统阻止了你的虚拟手穿越障碍，像其他人的虚拟身体之类的障碍。这些都是植入器产生的吗？

没错。

所以你可以一边在真实现实中坐在这儿和我对话，一边和乔治在虚拟现实中亲热，并且有完整的触觉真实体验？

我们管它叫触觉虚拟，你说的也没错。但现实和虚拟间的触觉分离技术仍不完善，它还是一项新型技术。所以如果我和乔治的举动过于激烈，你应该也会察觉到。

那可不太好。

但这总体来说并不是问题，因为我用虚拟身体去参加了许多会议。所以即使在人口普查进行时，会议不断之余，我也能和乔治单独待一会……

用另一个虚拟身体吗？

没错。

那在拥有两个虚拟身体时，真实现实和虚拟现实中的一个身体之间的触觉分离不会有问题吗？

也并不是毫无问题，有时人们会看见我一直在笑。

你说过会有小毛病……

有时我感觉到了什么，或有人在碰我，但有可能这只是我想象中的事。

有可能只是神经植入器公司的工作人员在远程测试设备。

嗯。

所以你最近在忙人口普查？

对，这应该是值得骄傲的事，因为这是时下最热门的问题了。但这其中处处牵扯到政治，还有没完没了的会议。

人口普查中用到的技术总是最先进的。你要知道，电子数据处理技术就是在1890年美国人口普查时开始使用的。

可不是嘛，这个话题在每次开会时至少被提及三次，可这又不是技术问题。

那这是……

人的问题。有人提议将虚拟人物也算进人类范畴，但大家又始终无法制定一个可行的提案。虚拟人类还难以计算，也不容易分辨，因为它们可以互相结合，也可分散成多个不同的人。

为什么不直接计算由具体的人衍生出的机器数量？

有一些计算机网络人声称自己以前是一个具体的人，但实际上它们只是人类性格的仿真品。人口普查委员会认为这样计算并不合适。

我也同意——人类性格仿真品确实不能算在其中，它们只是完全式神经扫描的产物。

就我而言，我更倾向于将具体的人的定义广义化，但我又想不出比较合理的方法。委员会同意在神经扫描范围扩大至大部分神经区域时重新讨论这个问题。但这个问题确实很难处理，已经有人类利用纳米管植入器进行大脑内神经的大部分计算，但政界人士似乎要求把一些未提高的“原始基层”也计算在内。

原始基层？你是指人的神经元？

没错。如果不进行一些以神经元为基础的思考，我们无法辨别并计算出人类个体数量。但一些机器也能在此方法下被算入普查中，并且它们似乎很喜欢为自己建立一种人格，并通过审查被算作具体人。这就是一场游戏。

被认定具有人类身份肯定有法律上的好处。

这一点一直存在问题。旧的法律体系仍要求一个人类个体承担责任，但在法律文本中，又回到之前的问题：谁或什么才是人？总之，所谓的人类决策被植入器完全左右，同时，在未接受检查前，机器们

不会做出重大决策。但是我觉得你的想法是正确的，被算作人类确实有好处。

如果在普查中采用图灵测试呢？

那可行不通。首先我们没有足够的显示器。再者，选择进行测试的人类评判官时，我们还是绕不过上述这个问题，导致普查时的问题仍然存在。就拿乔治来说，他很擅长模仿。晚餐过后，他总会用他编造出来的人物来逗乐。只要他愿意，他可以表演上千种不同性格的人物。

说到乔治，他想被算作具体人吗？

我觉得他是想的，他可比委员会里的人们聪慧和绅士多了。我想这也是为什么我想扩大定义范围的原因。只要他愿意，他可以建立自己的人物身份，可是他对此并不上心。

他似乎只关心你。

可能是吧。

你看上去对委员会有些失望。

我能理解他们小心谨慎的心态，但我觉得他们受“记住约克活动”分子影响太大了。

你是说勒德分子，也就是“记住约克活动”分子……

没错。我对许多“约克”分子深表同情，但他们最近在神经植入器的问题上咄咄逼人，还反对所有的神经扫描研究。他们的想法实在是太死板了。

所以他们影响了人口普查委员会的决策，导致委员会在定义可纳入普查范围的人类时一直持保守态度？

我觉得是这样。委员会否定了这个说法，但最近有一种共识，认为约克分子在他们之间的影响太大。实际上，委员会主席的弟弟是佛洛伦斯宣言派的成员。

佛罗伦斯？是他们关押波兰前总统卡钦斯基的地方吗？

没错，就是科罗拉多州的佛洛伦斯城。《佛洛伦斯宣言》在卡钦斯基去世之前被一名警卫偷偷带了出来。这也成了激进约克分子的圣经。

他们是暴力组织吗？

总体来看还不是，但他们最终会走上暴力之路。时不时会有一些暴力分子或小型组织宣称自己是佛洛伦斯宣言派的成员，但目前还没有确切的证据说明他们有任何大规模的密谋。

所以《弗洛伦斯宣言》里都写了些什么？

虽然宣言整篇由铅笔手写而成，却是一份条理清晰、论述有力的文件，尤其宣言中提到了纳米病原体的问题。

关于纳米病原体它都说了些什么？

实际上，我刚参加了一场关于这个问题的会议。

用虚拟身体？

这是我现在常用的参会方式。而且这场会议和普查委员会会议的时间有冲突，我别无选择。

你可以同时参加多个会议？

这个过程会有些令人困惑，但会议本身就没什么意义，去参加也不过是坐在那儿浪费时间。

我同意。所以会议上说了什么？

由于纳米侦察和扫描等技术的发展，生物病原体的问题逐渐降温，人们更多地开始关注纳米病原体的威胁。

这个问题有多严重？

目前为止，问题并不大。纳米侦察兵曾出现抵制通信协议的现象，就此问题开过一次研讨会，这也引起了人们的警觉。但目前并没有出现1999年的情况，当时每年都有上万人死于药物的不良反应，而且还是在诊断正确和照顾得当的情况下。

那2029年的药物呢？

现在的药物都是基因工程根据每个个体的DNA特征特制而成。有趣的是，药物的制作过程基于原本为纳米侦察兵设计的蛋白质折叠工作。任何情况下，药物都是量身定制的，并且在作用到真实人的身体之前，会在主体的模拟体上定量试用。所以，出现不良反应的概率很小。

所以人们并不太关心纳米病原体的问题？

我可没这么说。近期一些自我复制的研究引起了不少关注。

确应如此。

但这似乎是环境重建提案提出的要求。

可别说我没提醒你。

我会记住的，虽然我在这个问题上并没什么发言权。

你的工作主要还是人口普查吗？

是的，至少过去5年都是这样。我花了三年的时间学习了委员会的研究纲要，这样我才有了参加委员会会议的资格，虽然我现在还没有投票权。

所以你进修了三年？

那段时间就像回到了大学一样，而且学习还是一如既往的无聊。

神经植入器没有帮上忙吗？

哦，当然有，不然我是不可能学完的。遗憾的是，我还是不能像乔治那样直接下载学习的资料。植入器只能在处理完信息后，快速地将处理过的信息框架反馈给我，可是整个过程耗时太长，实在让人扫兴。乔治也帮了我很多忙，我有困惑时，他会耐心地解释给我听。

三年进修现在已经结束了吗？

一年前就结束了，委员会的会议太紧凑了，我得全身心地投入其中。现在距人口普查开始还有一年的时间，我们正在研究如何完成这个项目。所以除了诉讼，我们还有很多事情要做。

诉讼？

哦，就是一些常规的知识产权纷争。我有一项专利，是关于细胞平衡纳米侦察的加强型模式识别演化算法的，它被指控与之前的一项

艺术专利有重。我在一次讨论会上偶然提到我有几项专利受到了侵犯，接下来纳米侦察业就以宣告式判决起诉我。

我都不知道你还在研究纳米侦察技术。

实话告诉你，这是乔治的发明，但他需要一个责任承担人。

因为他没有立场。

没错，没有确立人类身份之前，你始终会受到一些限制。

所以这件事怎么解决？

下个月提交地方法官。

把这些技术问题搬到法庭上会很难办吧。

噢，这位法官很有经验，他是纳米侦察模式识别领域公认的专家。

这听上去和我平时接触的法庭可不一样。

法庭体系的扩大发展得很好。如果我们仅局限于采用人类法官的话……

噢，所以这位地方法官是——

虚拟智能体，没错。

所以机器有了一定的法律地位。

官方意义来说，这位虚拟法官是该法庭人类法官的代理人，但这些虚拟法官大部分自己做决策。

我懂了，听起来这些地方法官很有影响力。

这也别无选择，因为所涉及的问题太复杂，审判的过程将会持续很久。

我明白了。好了，现在跟我说说你的儿子吧。

他是斯坦福大学大二的学生，日子过得不错。

他们的校园很美。

没错，我们随时能够看到它的椭圆形广场和周边的建筑，因为杰里米过去10年一直在图片夹里存着斯坦福大学校园的3D投影图。

那他肯定觉得自己就像在家一样吧。

他确实在家，就在楼下呢。

所以他上学也是通过虚拟的方式。

大部分学生都是如此。但斯坦福大学规定每个季度必须有至少一星期的时间真实地待在学校里。

你是指真实身体？

是的，这就让虚拟智能体的正式参加变得很困难了。

他们也不需要，反正他们能直接从网上下载知识。

有趣的不是知识，而是小组讨论。

不是所有人都能参加小组讨论吗？

仅限公开讨论，有许多是非公开的小组讨论——

哪些不在网络上呢？

当然都在网络上，但是进入需要密钥。

好吧，这就是杰里米在家参加讨论的方法？

没错，杰里米和乔治最近关系很密切，所以杰里米允许乔治偷偷参加非公开讨论，而不让其他人发现。

我会保密的，只会告诉我的读者们。

那他们也得保密。

我会向他们传达的。

希望不会出什么问题。话说回来，乔治现在在辅导杰里米完成家庭作业。

希望乔治不是替杰里米完成全部的作业。

噢，乔治不会那样做的，他只是在辅导而已，他帮了我们所有人，不然我们不可能完成的。

你要知道我也可以让他帮忙。他或许可以帮我在截稿之前完成这本书。

乔治是很聪明，但他没有诗人许可技术，无法像我一样与时间相隔久远的人进行谈话。

这太遗憾了。

但我很愿意帮你。

没错，而且你已经帮我很多了。

---

1. 人脑每秒能进行10^{16}次计算，假设全球人口数量为10^{10}，可知全球人脑总计算量为10^{26}。1998年，全球约有10^{8}台计算机，保守估计，到2029年将有10^{9}台计算机，且这些计算机都具备1 000美元可购买到的最顶尖技术，这个估算已是非常保守的，但也已能满足我们的需求。如此一来，所有计算机的计算总量为每秒$10^{9}\times 10^{19}=10^{28}$次，是人脑计算总量的100倍。
2. 详见Raymond Kurzweil,The 10% Solution for a Healthy Life: How to Eliminate Virtually All Risk of Heart Disease and Cancer（New York: Crown Publishers, 1993）。

第十二章
2099年：人类的定义被彻底颠覆



当我看着窗外

你觉得我看见了什么？

……是各种各样的人。

——多诺万

我们知道自己是什么，却不知道可能会变成什么。

——莎士比亚

人类思维正融入自己创造的机器智能领域。

人类大脑的逆向工程似乎已经很完整了。大脑当中的几百个特殊区域已被全面扫描、分析并解读。基于人体运转模型的机器模拟装置也得到了完善和延伸，同时还出现了很多新型大规模并行演算法。连同电子/光子电路速度和性能的巨大优势一起，这些改进为基于机器的智能体提供了巨大的优势。

这些基于机器的智能体完全由人类智能模型衍生而来，虽然其大脑构造并非由碳基细胞演化而来，而是电子和光子的“对等物”，但

它们仍声称自己是人类。这些智能体大都未与具体的计算处理单元（即一种硬件）直接相连。使用软件进行计算的人数远多过使用自身神经元计算的人数。基于软件的智能体可以随意显示出自己的身体：它可以在虚拟现实的不同层面上显示一个或多个虚拟身体，也可使用能迅速重组的纳米机器人群集显示出一些纳米工程制作的真实身体。

甚至在依旧使用碳基神经元的人类智能体中，神经植入技术也已经普及，大大提高了人类的感知和认知能力。那些没有采用植入技术的人也无法与采用了植入技术的人进行有意义的对话。

这些前景方案互相结合的方法数不胜数，人类的定义也已被彻底颠覆。虽然基于机器的智能体的基本权利已得到解决，人类、机器智能体以及其各种结合体也具有各自不同的权利和力量，而这也成了政治和哲学的根本问题。

在2099年，我们已能感受并体验到一大堆新潮的技术，而其发展速度在即将到来的22世纪将会持续加快，并互相影响，还有……

是的是的，尼尔斯·玻尔（Niels Bohr）曾经说过："未来尤其难以预测。"那么你为什么不用我的见解继续预测呢？那样会简单得多，也不会迷茫。

也许这有点道理。

毕竟，几百年是很长的一段时间。更何况21世纪的发展就像把10个世纪合并成一个世纪。

21世纪确实是这样。

加速回报定律仍呈螺旋式上升。

我一点儿也不惊讶。不过，你看上去确实很不错。

我们每次见面你都这么说。

我是说，你看上去好像又回到了20岁，比这本书刚开始写作的时候漂亮多了。

我知道这也是你希望看到的样子。

这下可好，我会被冠上喜欢年轻女人的名号。

我很高兴自己现在在2099年。

谢谢。

我也可以看上去很丑。

没关系。

不，说真的，即使不改变外表，我也可以看上去很丑。就像维特根斯坦（Wittgenstein）所说的，“想象一下这只蝴蝶，把它想象得异常丑陋，而不是美丽”。

我一直没弄明白这句话的意思，但是我很高兴你愿意引用20世纪思想家的话。

可是你也不熟悉21世纪的思想家。

所以，你想说的仅是外表。但是我看不见虚拟现实，因此我无法——

理解你如何才能看见我？

对。

现在我的身体只是一个小型模糊的群集投影。就是这样，明白了吧？

还不错，真不错。你也感觉不错。

我应该拥抱你一下，因为这本书已经快写完了。

这项技术真了不起。

哦，现在我们已经不常使用群集技术了。

上次我见你的时候还没有纳米机器人群集技术呢，现在你们都不常使用这项技术了。我肯定错过了一个阶段。

一两个阶段吧。上次我们见面还是70年前呢！这70年间的发展前所未有地快。

看来我们要经常见面才行。

我不知道这是否可能。正如你说的，这本书已经接近尾声了。

你和乔治仍然很亲密吗？

非常亲密。我们从来没分开过。

从来没有？难道你们不会彼此厌倦吗？

你会厌倦你自己吗？

事实上，有时候确实会。但你是说你和乔治已经……用哪个词比较合适呢？

兼并了？

是像公司兼并那样吗？

呃，更像是两个团体结合在一起了。

两个思维团体？

没错。我们的思维就是一个幸福的大团体。

如同雌性蜘蛛吞下了小雄性蜘蛛？

那可不对，乔治可是个大蜘蛛。他的思维就像……

银河系那般浩瀚？

也别说得太夸张，也许像太阳系吧。

所以，你已经加入了不同的团体，或者说加入了你们的团体。那么你们就无法再和彼此做爱了？

那倒不是。

好吧，我觉得有些事情已经超越我20世纪末的理解能力了。

也非如此。有关人类的奥秘——甚至是“原人”（MOSHS），几乎没有什么是你们无法理解的。而其他灵长类动物就不是这样。

好吧，现在我的问题越来越多了。原人是什么？

哦，差不多就是指最原始最基本的人类。

好吧，当然——还没升级的……

没错。

但既然你和乔治已经合二为一了，还怎么彼此亲密呢？

巴里·斯巴克斯（Barry Spacks）诗中曾说——

“受欲望驱使，他的声音听起来像是女人的呻吟……”

对，就算是原人也可以自我分离——

当我们独处的时候——

或和别人在一起的时候。难道你不觉得，做你自己的同时又变成另一个人的体验很不错吗？

尤其当另一个人也成为你的一部分。

是呀。但我和乔治仍然可以分离，至少表面的几层可以。

几层？

好吧，有些事情很难向原人解释清楚，即便是像你这样进化得不错的原人。

是啊，但你可别忘了是这个原人创造了你。

我永远也不会忘的，也会永远心存感激，你可以把外层当作我们的人格。

所以说，你分裂了你的人格……

有的时候是这样的。但我们仍然会共享知识库。

听上去你俩似乎有很多共同点。

（笑声）

你的性格还是和以前一样。

是啊，我最喜欢的部分就是乔治保留的那些。

真是富有创造力的家伙。

是啊。

其实拥有多重人格也没那么特殊，20世纪的时候也有这样的人。

没错，我还记得。但是如果所有的人格都挤在一个原人的大脑里，思维就不太够用了。所以这些人格很难获得成功。

那你现在做什么呢？

在跟你讲话啊。

是，我知道，但你还在做其他的事吗？

也没做多少别的事，我试着把大部分注意力集中在你身上。

没做多少？那还是在做了。

我真的想不出来了。

所以你现在还和其他人连线互动着吗？

你真是好管闲事。

我们几十年前就已经知道这一点了。但你还是没回答我的问题。

好吧，不算有。

不算有？所以还是有啦。

除了乔治的话，就没有别人了。

我很高兴没怎么让你分心，好吧，还有别的吗？

刚刚完成了一段交响乐。

这是你的新兴趣吗？

才刚刚开始而已，但是作曲真的是同杰里米和艾米莉保持亲密的好方法。

听起来确实是个同孩子们交流的好方式，虽然他们现在已经差不多90岁了。我能听一听吗？

你恐怕听不太懂。

还需要升级才能听懂？

是啊，大部分艺术都需要。对原人来说，这段交响乐不在原人可听的频率中，而且节奏太快。它所运用的音乐结构也是原人无法理解的。

就不能给没有升级的人创造些作品吗？就作品内容的深刻程度来创作的可能性还是很大的。想想贝多芬——他两个世纪以前创作的作品现在听来依旧很棒。

是啊，也有这样一种作品——事实上是所有的艺术，我们可以创作原人能理解的音乐和艺术。

然后你给原人播放原人音乐？

这么说吧，我觉得都可以试试，不过现在要找到原人可没那么容易，而且也没那个必要。我们当然明白原人能够理解什么。不过重点

在于要把原人的限制作为额外约束条件。

有点儿像为了配合以前的乐器创作新的曲子。

对，为以前的思维创作新的音乐。

好吧，那么除了你和乔治的对话以及这段交响曲之外，你是不是把注意力都放在我这儿啦？

现在我和乔治正在一起吃午饭，共享一个汉堡。

我还以为你是个素食主义者。

别天真了，这可不是用牛肉做的汉堡。

当然，这是群集技术做出来的汉堡。

不不，你有点没弄明白。差不多半个世纪以前我们确实有用纳米技术生产的食物。所以我们可以吃肉或其他任何想吃的东西，但这些东西并不来自动物，而营养成分又很充足。即便是这样，你也不会想吃一个群集技术投射的东西——群集只在真实环境中进行视听触觉的投射，你明白我的意思吗？

明白。

几十年后，我们的身体基本被纳米建构的器官替换了。所以现在不需要在真实环境中进食，但我们仍要在虚拟环境中享受共进食物的乐趣。总之，纳米结构的身体很不灵活，得花个几秒钟才能从一种形式重组成另一种形式。所以现在如果有必要，或者我想的话，我们可以直接投射一个合适的身体。

运用纳米机器人群集技术？

那是其中一种方法，也是我现在正用的方法。

因为我是原人。

对，但大多数情况下，我只需要一个可用的虚拟空间。

好吧，我觉得现在能听懂你说的话了。

我说了，原人可以理解大部分事物，我们也很尊重原人。

毕竟你们是原人的继承人。

没错，不管怎么说，出于前人的立法规定，我们必须这么做。

好吧，让我猜一下。原人受前人的保守思维保护。

是的，但不仅有原人，确切地说还有一个程序在保护我们与生俱来的权利，这也是对我们经历的历史的一种尊敬。

那你还喜欢吃东西吗？

当然。因为我们继承了原人的特征，我们的经历——吃东西、听音乐、性生活，都建立在以前的基础上，虽然现在已经丰富了很多。不过，我们现在确实有很多经历很难追溯其源头，尽管人类学家一直在试着这么做。

我还是很惊讶，你居然喜欢吃汉堡。

我知道这是种返祖现象。其实我们很多人的行为和思维都深深根植在过去。但既然你提到这一点了，我觉得我已经没有胃口了。

对不起。

我应该更敏感一些的，我的好朋友谢尔比看上去像一头牛，至少她总是表现成这样。她声称自己曾被带到另一处进行升级，但没人相信她。

那在虚拟现实里吃一个虚拟的汉堡有满足感吗？

非常满足——它的质地、口感和香味都棒极了，虽然大部分时候我是个素食主义者，但它的味道就和记忆中的一样。神经模型不仅可以模拟我们的视觉、听觉以及触觉环境，还可以模拟我们的体内环境。

包括消化系统？

是的，生物化学的消化系统模型非常精确。

那消化不良呢？

现在我们几乎已经可以避免消化不良了。

你好像落掉了一些事情没说。

呃。

好吧，我第一次见你的时候就觉得你是一位非常迷人的女士，现在你投射出来的样子依然是位漂亮的女士。至少我跟你在一起的时候是这样。

谢谢。

那你的意思是说，现在你是一台机器啦？

一台机器？对于这点我并没有发言权，这就好像问我是不是很聪明或很振奋人心一样。

我想在2099年“机器”一词的含义和1999年的含义已经不一样了吧。

我想不起来了。

好吧，那我们这么说吧。你是否还有碳基神经电路？

电路？我不太明白你的意思。你是说我自己的电路吗？

天呐，时间一定过去太久了。

这么说吧，我们拥有自己的思维方式确实已有几十年了，并且仍有一些本地智能体喜欢依赖具体的计算单元，但那仅是怀旧情结在作祟。不管怎样，这些本地智能体还是在网络上进行思维活动，所以这仅是一种伤感的时代错误。

一种时代错误，就像拥有你自己的身体一样？

只要我想，任何时候都可以有。

但是你却没有具体的神经基质？

我为什么要有那玩意儿？还需要对它进行大量的维护，而且还有很多限制。

所以，从某种意义上来说，莫莉的神经电路已经被扫描了？

是的，我就是莫莉。顺便说一句，并不是一下就全部扫描完了。

但你都没有怀疑过自己还是不是从前的那个人了？

我当然还是那个我，而且我清楚地记得扫描思维之前的所有经历，那时大脑各部分得到充分证实，之前之后的事情我都有记忆。

好吧，你已经继承了莫莉所有的记忆。

别再谈这个问题了。

我不是想要为难你，但想一想，莫莉接受神经扫描之后，被拷贝后变成了你。也许莫莉仍然存在，或者已经朝其他方向进化了。

我们只是觉得这种观点站不住脚，大概20年前就已经解决这个问题了。

好吧，你当然会这么想了，因为你在计算机的另一头。

好吧，每个人都是。

每个人？

也不真的是每个人。但毫无疑问，在我的思维里——

你就是莫莉。

我想我知道自己是谁。

好吧，你就是莫莉，我没有异议。

你们原人总是容易败下阵来。

但和计算机另一头的人们争辩也很难。

当然了，所以现在我们大部分都到这边来了。

我觉得没法再深入探讨身份的问题了。

正因如此，它已不再是一个问题了。

我们为什么不谈谈你的工作呢？你还在为人口普查委员会做顾问吗？

我已经做了半个世纪了，早已筋疲力尽。不管怎样，现在这个问题已经差不多解决了。

所以计数的问题也解决了？

现在我们已经不再统计人口了。显然，一个一个地统计不太有意义，就像艾瑞斯·梅铎（Iris Murdoch）说的，“很难分辨一个人从何处终止，又从何处开始”。就好像去数想法或者思维一样。

那你统计什么呢？

显然，我们现在统计计算量。

类似于每秒计算多少次那样？

比那个稍微复杂一点，因为量子计算的缘故。

我也没指望它会有多简单。但是底线是什么？

如果没有量子计算，我们最多每秒可以计算10^{55}次。注

一个人？

不是，我们每个人都可以算自己想算的，这是总数。

整个地球的总数？

算是吧，但其实并不是所有的计算都在地球上。

那如果有量子计算呢？

那么在总计算中，大约有10^{42}次是量子计算，约有1 000个普通Q比特。这大概相当于每秒完成10^{342}次计算。但量子计算并不完全运用在一般用途上，因此10^{55}仍然是比较中肯的。注

呃，我的原人大脑里每秒只能进行10^{16}次计算，至少状态好的时候是这样。

其实你的原人大脑当中也有一些量子计算，所以这个数还可能会高一些。

那还好。既然不在人口普查委员会工作了，那你在做什么呢？

我们没有具体的工作。

我知道那是什么感觉。

事实上，放在21世纪末，你并不是一个工作糟糕的人。基本上我们所有人都是企业家。

听上去感觉好像有些事情朝正确的方向前进了。那么你们的企业都是做什么的？

我的一个想法就是，用独一无二的方法对新技术进行分类。就是把用户的知识结构和外部网络知识匹配起来，然后再整合成相关的模式。

我好像没弄明白。给我举个例子吧，就说说你在分类方面的最新研究计划。

大部分分类都是自动的。但我确实参与了一些费米工程方案的策划。注

费米，即10^{-15}米？

没错。德雷克斯勒撰写了一系列论文，展示在费米层面上构建技术的可行性，基本上就是在夸克内开发精密结构进行计算。

有人完成了吗？

还没有人演示过，不过德雷克斯勒的论文里把它说得可行性很高：至少这是我的观点，不过这也有很多争议。

德雷克斯勒是那个在20世纪七八十年代研制出纳米技术概念的那个人吗？

对，埃里克·德雷克斯勒（Eric Drexler）。

那他差不多150岁了，他一定也在你那一边。

当然了，每一个做着严肃工作的人都在我这边。

你刚才提到了论文，现在还发表论文吗？

发表，有些古老的术语流传了下来，我们称之为“原人主义”，当然，论文不发表在任何实物上，但还是叫这个名字。

用什么语言写？英文吗？

大学论文一般按照一套标准的同化知识公约发表，便于人们快速理解。也有一些简化的结构形式，但这些一般都用在更通俗的出版物上。

你是说像《国家询问者》（National Enquirer）这种刊物？

这是比较严肃的出版物。它们使用完整协议。

我明白了。

有些时候，论文也会以合乎规则的形式发表，但这些论文通常都不令人满意。最近通俗读物流行出版一些用英语等原人语言写的文章，但没关系，我们可以迅速将其翻译成同化知识结构。学习不再像以前那般需要大把努力了，现在需要努力的是发现新的知识去学习。

还有其他最新趋势吗？

自动分类工作在自杀行动提案方面有些困难。

什么困难？

这其中的设想是获得终止思维文件并摧毁所有复制版本的权利，但规定要求至少要保存三份备用复制品，长度不超过10分钟，并且至少有一份由官方机构保管。

我知道问题出在哪儿了。如果要摧毁所有的复制品，他们可以偷偷地保留一份，之后再进行复制，而且你完全不知情。这和存在于计算机另一头的人与原来的人必须保持一致（包括意识延续的一致）的前提不冲突吗？

我觉得你没有理解。

你能解释一下吗？

你不会明白的。

我觉得我可以理解大部分事情。

我确实说过。现在我觉得应该再想一想。

你是要再想想一个原人是否可以理解任何概念，还是意识延续的问题？

我觉得我现在有点儿迷糊了。

好吧，多跟我说一说“摧毁所有复制品”运动。

现在我真的看见这个问题的两面性了。一方面，我一直以来都支持拥有控制别人的命运的权力；另一方面，摧毁知识是一种罪恶。

所有的复制品都代表知识？

当然啦。最近，“摧毁所有复制品”运动已经成了约克问题的主要内容了。

等一下，如果我没记错的话，约克分子是反对技术的人，只有你那一边的人会担心“摧毁所有复制品”的问题。如果约克分子也在另一边，他们怎么会反对技术呢？或者说，如果他们不在另一边，那为什么要关心这个问题呢？

好吧，要知道上次谈论这个问题已经是70年前了。约克组织确实深深地根植于古老的反对技术运动，但现在他们也在我这一边，他们已经转向了一个不太一样的问题，具体来说就是个人自由的问题。另一方面，支持佛洛伦斯宣言的人们已承诺要保持原人的身份。当然，我尊重原人。

谢谢。他们也受前人的立法保护？

的确。我曾听过一个佛洛伦斯宣言的领导者的演讲，虽然她用原人语言讲话，但她不可能连一个神经扩张植入器都没有。

好吧，我们原人有时也可以让别人理解。

哦，当然了。我没别的意思，我是说……

没关系。所以你也参与了这场“摧毁所有复制品”运动？

只参与了将计划和讨论分类的工作。但我也确实参与了一个有关备份信息合法查看的锁定的运动。

听起来挺重要的。但自行查看思维文件会怎么样？因为你所有的思想和记忆都以数字形式储存在这里。

事实上，它既是数字的，也是模拟的。我明白你的意思。

所以……

对思维文件的合法查看一直都有规定。基本上，我们的知识结构与以前的可发现文件和人工产品相对应，也是可查看的。但那些与我们的思想过程相对应的结构和模式本应是不可查看的。这些都深深地根植于我们作为原人的过去当中。但正如你所说，关于如何解释这件事存在无穷的争议性案件。

那么，合法查看自己原始思维的问题已经解决了，尽管用的是一些模棱两可的规则。那么备份文件的问题呢？

信不信由你，备份的问题还没有完全解决。这说不过去，是不是?

法律系统从来都不是完全一致的。那证词呢——你是否要亲自到场？

因为我们很多人并没有永久的实体存在，所以这也就没有亲自不亲自的问题了，对吧。

我明白了，所以你可以用虚拟的身体提供证词？

当然，但你在做证明的时候将被严禁做其他事。

不能和乔治说悄悄话了。

没错。

这听上去是正确的做法。即使在1999年，你也不能把咖啡带进法院，而且必须关闭手机。

除了查看问题之外，人们对于政府调查机构可以进入这些备份的做法也有很多顾虑，虽然政府对此表示否认。

我一点儿也不意外，隐私仍然是一个问题，菲尔·齐默尔曼（Phil Zimmerman）……

那个提出PGP程序的家伙？

哦，你还记得他。

当然啦，很多人都把他奉为圣人。

他设计的“完美隐私”程序（Pretty Good Privacy）确实很好——在1999年，这是一种非常先进的加密算法。但他也说过：“在未来，我们都将只有15分钟的隐私。”

有15分钟就够好的了。

好吧，那你在2029年担心的可以自我复制的纳米机器人怎么样了？

这一点我们也努力了好几十年，曾经还发生过很严重的事故。但现在我们很高兴很多事故已经过去了，因为我们不用永久显示自己的身体了。只要网络安全，我们就无须担心。

现在你以软件的形式存在，对于软件病毒一定也有很多顾虑。

你说得很对。软件病原体是现在的安全机构最担心的问题。他们说病毒扫描的消耗其实占了网络计算消耗的一半。

仅仅为了寻找病毒匹配。

病毒扫描涵盖的远不只是匹配病原体密码。更智能的软件病原体一直在改变自身形式。没有能与之进行可靠匹配的外层。

它们还挺狡猾。

当然，我们通过基质来传输思想的时候必须时刻保持警惕。

那硬件安全呢？

你是说网络？

那就是你存在的地方，不是吗？

是的。网络现在非常安全，因为它非常分散而且冗余，至少我们被告知是这样的。就算大部分被摧毁，本质上来说也没什么影响。

你们一定在维护方面付出了很多努力。

网络硬件现在是自我复制型的，而且还在不断扩张。一些稍旧的电路还在不停地被回收后重新设计。

所以不用担心安全问题了？

我觉得我对基质问题还是有一点担忧。我觉得这种自由漂浮、焦虑的感觉就根植于我作为原人的过去当中。但这不是问题，我无法想象网络脆弱不堪的样子。

那自我复制的纳米病原体呢？

呃，我觉得它们挺危险的，但是纳米机器人瘟疫必须非常有扩散性才可以蔓延到整个基质。15年前，90%的网络内存都消失的时候，我怀疑就发生了这种情况——直到现在我们都没有得到确切的解释。

好吧，我不是故意要让你变得焦虑。那么，你是作为企业家在做所有的分类工作吗？

是啊，算是我自己的生意。

它的经济状况怎么样？

还可以，但也没有赚过大钱。

好吧，给我说个大概数字。你的网络大约值多少钱？

哦，还不到10亿美元呢。

你是说2099年的美元价值？

当然了。

好吧，那用1999年的美元价值算是多少？

我看看啊，按照1999年的美元价值，差不多1 490亿美元。

哦，那么2099年的美元要比1999年更值钱啦？

对啊，通货紧缩的势头一直在上涨。

我明白了。所以你现在比比尔·盖茨还富有。

嗯，比1999年的比尔·盖茨富一点，不过这也说明不了什么。但在2099年的世界里，他还是首富。

我想他曾经说过，他的前半生要用来挣钱，后半生用来把钱送出去。

他还是没有改变计划，而且他已经送出去很多钱了。

那你呢？平均来说，资本净值是多少？

大概80%。

还不错嘛，我一直都觉得你很聪明。

乔治也功不可没。

别忘了是谁创造了你。

当然。

现在你有足够的资本来满足自己的需求吗？

需求?

是啊，你还熟悉这个概念吧……

这真是个稀奇古怪的问题。虽然最近我读了一本关于需求的书，但也已经几十年没有什么需求了。

一本书，你是说有字的书？

当然不是了，除非我们是在研究前几个世纪的资料。

所以就像是研究论文一样——是同化的知识结构组成的书？

这么说也合理。你看吧，我就说没有原人不明白的东西。

谢谢。

不过我们还是能区分论文和书。

书的篇幅更长？

不，更智能。一篇论文基本上是静态结构，但书是智能的，你可以和书本建立关系。书本之间可以有一些体验和经历。

让我想起来了马文·明斯基的话：“你能想象吗？在他们曾经拥有的图书馆里，书本之间不会互相交流。”

很难想象以前这都是真的。

好吧，所以你没有任何未得到满足的需求。那欲望呢？

这个概念我倒还记得。当然，我的经济条件有限，有时很难去做一些预算的权衡。

看来有些事情还是没有改变。

是的。去年我真正想投资的风险计划有5 000多个，但真正投资的还不到1/3。

看来你还是不如比尔·盖茨。

当然了。

当你投资的时候需要付出什么？我是说，你无须购买办公室设备了。

基本上是为人们的时间、思想以及知识付钱。虽然网络上有很多免费的知识，但要获得更多知识就要付费。

情况和1999年差不多。

钱还是大有用处的。

你已经在这儿待很长时间了，会不会有点儿烦？

就像伍迪·艾伦（Woody Allen）曾说的："有的人想通过工作或繁衍后代达到永生，我想通过不死达到永生。"

我很高兴艾伦在你们这个时代依然具有影响力。

但是我确实经常做这个梦。

你还会做梦？

当然做啦。如果不做梦的话就没有创造力了。我试着尽可能地多做梦，至少做一两个梦。

梦到了什么呢？

有一长排大厦——有几百万几千万座。我走进其中一座，里面是空的。我检查了所有的房间，里面都没人，没有家具，空空如也。我又走进下一座大厦，一座又一座。突然，我有一种恐惧感，梦就醒了……

感受到时间无限的本质之后有一丝绝望吧？

呃，也许吧，但后来那种感觉又消失了，我发现我也想不起来那个梦，它似乎消失了。

听起来像是某种抗抑郁的算法发挥作用了。

也许我应该研究一下，把它覆盖重置一下。

你是说梦还是算法？

我想的是算法。

恐怕有点困难。

哎呀。

现在你还在想别的吗？

我在试着冥想。

除了交响乐、杰里米、艾米莉、乔治、我们的对话，还有你那一两个梦之外？

嘿，这真不算什么。我的注意力基本都在你身上。我猜现在你没想别的吧？

好吧，你猜对了。现在我有很多想法，但我却理不清思绪。

好吧，确实是这样。

你的冥想进行得怎么样了？

我觉得咱俩的对话有点分散我的注意力了。从1999年到现在，我并不是每天都和别人讲话的。

那一般情况下呢？

我的冥想？对我而言非常重要。生活中的事太多了，有时承受思绪的冲击也很重要。

这些冥想能帮助你达到超脱之境吗？

有时我感觉可以超脱，达到内心的和平、宁静。但这并不比我第一次见你的时候更容易。

那心灵体验中的神经关联呢？

我可以将一些非常浅显的感觉缓缓注入自我，但那不是真的灵性。就好像我任何一种真实姿态——一个巧妙的表情、一瞬间的平静、一种对友谊的感知，这就是我为之而生的东西，很难达到这种境界。

我很高兴能听到有些事情仍然很难做到。

事实上，生活真的不容易。我有太多的要求和期待，又有着太多限制。

我能想到的限制之一就是，这本书的篇幅有限。

时间也有限。

没错。很感谢你能同我分享你的想法。

我也很感激。如果没有你，也没有我的存在。

我希望你那边的人们都能记得这一点。

我会带话给他们的。

那我们是不是要吻别了？

仅仅是亲吻而已吗？

这本书只能这样了，如果这是电影结尾的话，我需要重新考虑一下，尤其是让我演我自己的话。

那我就吻你一下吧……现在记住，我已经准备好做任何事情了，或者说是准备好去做你想让我做、需要我做的任何事情。

我记住啦。

好吧，这样你才能找到我。

真糟糕，我还要再等一个世纪才能见到你。

或者成为我。

是的，没错。

---

1. 正如在第六章和第十章中讨论的，一台1 000美元的计算设备计算能力将在2020年达到人脑的计算能力，约为每秒2×10^{16}次（神经连接）计算。还有，计算容量每12个月就会翻一番，或每10年翻9番，即每10年都乘以1 000（2^{10}）。所以到2029年，一台1 000美元的计算设备的计算能力大约为人脑计算能力的10^{24}倍，即每秒10^{40}次计算。估算10^{12}为虚拟人物的计算能力（约为10^{10}个21世纪的人类大脑总和的100倍），和在每个人身上投入的100万美元的计算资金，我们可以得到约每秒10^{55}次计算速度。
2. 1 000Q比特意味着可同时进行$2^{1\ 000}$（约为10^{300}）次计算。若每秒10^{42}次计算均为量子计算，则其计算量为每秒$10^{42}\times10^{300}=10^{342}$次计算，$10^{55}+10^{342}$仍等于$10^{342}$。
3. 你一定在思考皮米工程是什么样的。皮米工程指在皮米层面（1皮米为一万亿分之一米）进行的技术。首先要知道作者已经有70年没和莫莉聊天了。纳米技术已在2019年和2029年间成为可行实用技术。且在20世纪，加速回报定律已被运用到物理尺寸更小的工程中，成功进军计算机领域。摩尔定律就是个很好的例子，晶体管（二维平面的）的大小每两年就缩小一半，即晶体管的大小10年内按$2^5=32$的倍数缩小。因此，晶

体管的尺寸在每个维度每10年以=5.6的倍数。所以，零部件的大小也在以每10年5.6的倍数在每个维度中缩小。

如果纳米工程在2032年能成为可行实用技术，那么皮米工程约在40年后即2072年成为可能（因为5.6^4约等于1 000）。进而费米工程（在费米层面进行的计算科技，1费米=10^{-15}米）将实现于2112年前后。所以我提到2099年费米工程的饱受争议还是比较保守的说法。

纳米技术涉及原子的使用，皮米技术涉及亚原子层次的工程，费米技术涉及夸克内部的机制。这并不是耸人听闻，因为现代理论已有了对夸克内极度精细机制的假设。



后记

重回宇宙：人类并不孤单

莫莉，我又想到一些问题：

你指的那些局限都是什么？

你说过你担心的是什么？

你在害怕什么？

你能感受到疼痛吗？

你的孩子呢？

莫莉？……

看来莫莉无法再回答我们的问题了。但没关系，我们也不需要答案了，至少现在不需要。到目前为止，我们只需提出正确的问题，因为还有几十年的时间去思考答案。

我们难以阻止变化的加速发生，机器智能在各个领域超越人类智能也难以避免。但我们仍有权利决定未来的技术和生活，这也是我写下这本书的主要原因。

让我们考虑最后一个问题：时间和混沌定律及其子定律（加速回报定律）并不仅限于地球上发生的进化过程，所以加速回报定律对地球之外的宇宙产生了什么样的影响呢？

稀少与大量并存

在哥白尼提出日心说之前，人们一直将地球视为宇宙的中心，并且认为地球在宇宙中有着至关重要的地位。然而现在，我们已经知道地球不过是个围绕太阳运转的渺小天体，这个太阳不过是银河系一千亿个太阳中的一个，而我们的银河系也不过是一千亿个星系中的一个。许多人都猜想生命体（乃至智能生命体）并非地球独有，只是我们尚未发现而已。

但没有人可以确定地说明宇宙中的确存在生命体。我认为宇宙中的生命体存在的数量既稀少又大量，许多其他现象都可以此概括描述。例如，物质本身便是既稀少又大量的。如果随机选择一块质子大小的区域，要想在这块区域内找到一个质子（或其他任何粒子）的概率极其小，连兆兆分之一都没有。也就是说，这块区域十分空旷，粒子分布得很分散。地球上也是如此，如果扩大到外太空，要找到一个粒子的概率就更低了。但宇宙中却存在几兆兆个质子，就此看来，物质的数量果真是既稀少又大量。

让我们从更宏观的角度考虑物质的存在。如果在宇宙任意一处随机选择一块地球大小的区域，这块区域内存在天体（如恒星或行星）的概率极其低，低于兆分之一，但整个宇宙中共有上亿兆个天体的存在。

再想想地球上的哺乳动物生物圈。地球上雄性生物精子的任务是要和雌性生物的卵子结合，而精子完成这项任务的可能性远小于兆分之一，但我们每年仅人类就有超过一亿个受精卵出现，这又是一个稀少和大量并存的例子。

现在再看一个星球上生命形式的演化，我们也可称之为物质和能量的自我复制过程。宇宙中生命体的数量可能也是稀少与大量并存，

条件也有可能恰巧适合生命演化。举例来说，如果某个恒星系中的一颗行星上存在生命演化的概率为百万分之一，那么我们星系中除地球之外的10万颗星体上也该存在生命演化，进而上千亿个其他的星系也应如此。

我们可以将生命形式的演化看作一个具体的指标，有些行星已经达到了这项指标，至少我们已知的星球中就有一个，由此也可假设其他星球也能达到这项指标。

下一项该考虑的指标便是智能生命体的演化。但是我认为智能的概念太模糊，无法作为一项明确的指标。就地球上已知的生命体来看，有一些物种一定程度上已经显示出聪慧的行为特征，但这并不足以作为设定指标的依据，充其量是生命体的存活方式，而非其特有的指标特征。

另一项能作为指标的有力候补项是判断一个物种的演化是否伴随着技术的创造。我们先前已经讨论过技术的性质，它也不仅限于工具的创造和使用。在地球上，蚂蚁、灵长类动物等其他动物使用甚至制作着时下的工具，但这些工具自身并不会演化。技术需要一个具有知识的躯体来描述如何创造工具，从而代代相传。这样一来，技术自身就成了一系列设计的演化。显然，这就不是生命体的存活方式，而是一项特有的指标特征。由此指标研究一类物种时，就看它是否能创造技术。一颗星球要供养多于一种以上的创造技术物种或许略有困难，但如果这种物种真的多于一类，那这些物种必不能和平共处，地球上就有这种先例。

还有一个重要的问题：一个环境适宜生命体演化的星球演化出一种能创造技术的生物的可能性有多大？虽然生命形式的演变既稀少又大量，但我在第一章曾论证过一旦生命形式的进化开始发生，那么具有技术创造能力物种的出现将是必然的。其他进化方式中拥有技术创造能力的物种会占据首要地位，技术也会随之不断进化。

发展的第二阶段便是计算。一旦技术出现，计算（不仅是物种神经系统中的，还包括技术中的）也必然出现。计算很显然是一种能有效控制环境和技术本身的方法，并且能大大促进技术的创造。一个有机体能够维持自己的正常运转，同时又能对外部环境做出智能反应，技术也是如此。在一个星球上，一旦计算出现，技术的指数级进化就进入了后期。

计算机出现后，加速回报定律必然会应用到计算中，并且，随着时间的推移，计算机技术会呈指数级增长。根据加速回报定律，物种和计算机技术均会以指数级速度发展，但技术的指数级增长速度要比物种高出许多。所以，计算机技术必将迅速反超其发明者。至21世纪末，计算机技术自发明以来仅有短短的250年。这200多年在进化历史中不过一瞬，在人类历史中也并不算长，然而在这期间，计算机已经发展得比其人类创造者强大很多（我认为也更加智能）。

下一步便是发明技术的物种与其创造的计算机技术的融合。在这个阶段的智能演化过程中，计算机一方面需要依靠其创造者的大脑设计结构（即大脑中负责计算的器官），同时又被植入所创造物种的大脑和身体中，与之融为一体。创造物种的大脑和神经系统被分区分块地输送至计算机系统中，最终替代计算机中的信息处理部件。各种实际和伦理问题会阻碍但无法阻止这一过程的发生。根据加速回报定律，我们可以预测，发明技术的物种与其创造的技术最终将完全融合在一起。

失败模式

先等等，这一步并非无法避免。在走到这一步之前，技术创造型物种及其发明的技术可能会进行自我毁灭。进化过程的彻底毁灭是阻止加速回报定律指数增长的唯一方法。强大的技术自被创造之初就有

巨大的毁灭潜力，可以将技术创造性物种及其发明的技术共同生存的生态环境全部摧毁。上文讨论过存在生命体和智能体的星球数量既稀少又大量，据此我们可推测，这些失败模式必然发生过很多次。

我们很熟悉以下这种可能情况：核技术的毁灭——它不是一次孤立的惨剧，而是涉及整个生物圈的毁灭大事件。核灾难并不会毁灭一个星球上的全部生命体，但必然会严重阻碍星球上的生命进程。到目前为止，我们的地球仍未能摆脱核毁灭的困境。

还有一些其他的毁灭性后果，其中一个很有可能发生的后果之前在第七章已经讨论过了，即复制机制的失灵（或被蓄意破坏）导致纳米机器人的自我复制过程失控。随着智能技术出现，纳米机器人应运而生，自我复制纳米机器人的出现也同样不可避免。因为自我复制是纳米技术中最有效的方法，最终也会成为制造这种纳米机器人的必由之路。在机器人系统失常或软件运行错误时，无法及时停止自我复制将酿成惨剧。这类癌症一样的失效会感染有机体，甚至对无机体也会造成危害，比如纳米机器人，因为它的起源就并非有机体。由此，宇宙中必然存在一些星球已经被纳米机器人的大部队占领。我认为进化就该从此重新开始。

这类毁灭性结果的发生对象并不仅限于纳米机器人，在任何一种自我复制的机器人身上都有可能发生。即使其形体比纳米机器人要大得多，这些机器人的自我复制方法仍是纳米工程。但任何一类机器人若是因为不良设计或程序出错，违反了艾萨克·阿西莫夫的“机器人学三定律”（该定律禁止机器人危害其创造者），那将对人类创造者造成巨大的威胁。

新型生命形式的另一大威胁便是软件病毒。我们在计算机中已见识过这种新型生物的原始形式。到21世纪，地球上出现的病毒将像今天的生物病毒（如HIV病毒）入侵人体那样控制进化过程。技术创造性

物种越来越多地利用其创造的计算机技术代替原有的人脑电流，由此，新型病毒便成了另一重大威胁。

然而在这之前，在原有生命体基因中作祟的病毒也是一大危害。随着技术创造性物种能够操控遗传基因密码（不管这些密码是如何运作的），新型病毒也能通过偶然和（或）蓄意破坏的方式出现。所以，该物种还未来得及将其智能设计输送至技术设备中，就已脱离正常的生命轨道了。

这些威胁究竟有多危险？我认为一个星球的计算能力发展到关键阶段时——正如现在的地球，完全有机会战胜这些病毒。但人们总指责我过于乐观。

天外来客

现在流行的有关天外来客的想象多是一些与人类相似的生物开着宇宙飞船或通过其他先进技术来到地球。在一些人的概念中，外星人的长相和人类极其相似，有些人则觉得他们多少会长得奇怪。别忘了我们的地球上就存在长相诡异的智能生物（比如巨型乌贼和章鱼）。但不管长得像不像人类，来访地球的外星人的体态在人类的认知中是相对一致的，那就是他们和人类体型大小相当，并且长相自出生以来基本不变（通常是湿软的）。这种认知和概念看起来其实真实性不高。

更有可能的是，来访地球的其他星球上的智能体代表的是一种进化完全的智能物种和更智能的计算机技术的合体。能长途跋涉探访地球，说明他们的文明已发展至相当高级的阶段，上面提到的合体也由来已久了。

如果上述推测是准确的，那这些来访的天外来客有可能体型很小。在地球上，21世纪末出现的计算机型超级智能体体型将十分微小，所以这些智能天外来客不可能乘着现在科幻片中体型庞大的宇宙飞船来访地球，因为他们没有必要采用如此硕大的物体和设备。再想想他们的来访目的，绝不可能是要来开采地球上的物质资源，因为如此先进的文明应该早已过了生存必需品得不到满足的阶段，而且他们已经能够通过纳米工程（还有皮米工程和费米工程）操控自己的环境，满足各类物质需求。所以他们来访的唯一可能目的就是侦察和收集信息，因为能引起这种先进文明兴趣的只有知识（这和现在地球上人类——机器文明有些类似）。这些目的可以通过极小的侦测、计算和通信设备得以实现，所以他们的飞船可能比沙子还小，大小为微型级别。或许这也是我们无法发现他们的原因。

智能和宇宙有多大的关系？

如果你是一个有意识的生物，想要完成一项需要运用智能的任务，比如写一本有关星球上机器智能的书，那么，这本书的写作也许是有一定的现实意义的，但是这些智能和宇宙其他部分又有什么关系呢？

人们普遍认为，这二者之间的关系并不大。星球有诞生就有死亡，星系经历了创造的循环后就有毁灭的过程。宇宙自身在大爆炸中诞生，就会走向分崩离析或回缩至一个点，具体是哪种结果不得而知。但这些和智能并没什么关系，智能就像宇宙中的一小团泡沫，是变幻莫测的宇宙力量中迸发出的一群小小生物。宇宙向遥远的未来机械地运转，而智能对此则无能为力。

这是被人们广为接受的想法，但我并不赞同。我猜想智能最终能显示出比非人为力量更强大的能力。

就拿我们的地球来说。6 500万年前，一颗小星球撞上了地球。这绝非人为，仅是一种强大的自然现象，其威力大大超过地球上的生物。但下一波天外来的“访客”可就没这种杀伤力了，我们的后代和他们创造的技术（这两者早已融为一体，已没有必要再区分了）将能迅速发现异常闯入者，并在太空中将其击毙，以智能为武器对付敌人。（1998年的一天，科学家们曾认为2028年将有一位“不速之客”——一个小星球撞击地球，24小时之内，他们进行了反复计算后，发现测算错误，撞击不会发生。）

智能体目前没有直接废除各项物理定律，如果能控制自然界的各种力并使其顺从于人力，这种做法将十分明智，也将收获颇丰。但是为了达到这个目的，智能必须达到一定的高度。

再想想，地球上的智能密度实则相当低。我们可以进行定量分析的仅是以cpspcmm（“每秒每立方微米”）为单位的计算。当然，这只是一种硬件测量的方法，并不是软件智能的方法，姑且称之为“计算密度”。我们在不久的将来会解决软件发展的问题，但现在在地球上，人脑是计算密度最高的物体（在未来几十年中会发生改变）。人脑的计算密度大约为2 cpspcmm。但其实这并不算高，我们之前讨论过的纳米管回路的计算密度有望比这高出一万亿倍。

同时，地球上可以进行计算的物质少之又少。即便是所有人脑的总重量也仅有100亿公斤，只占地球上所有物体总重的百兆分之一。所以地球上平均计算密度还不到1cpspcmm的一万亿分之一。我们已经知道如何利用计算密度将物体（即纳米管）放大至少一兆兆倍。

除此之外，地球仅是太阳系中极其微小的一部分，放眼太阳系，其他星球上的计算密度几近于零。所以就整个太阳系中仅存在一种智能物种来看，其计算密度是相当低的。

就另一个极端而言，纳米管的计算能力并不代表物质计算密度的上限，它还可以更高。我还认为计算密度没有任何上下限制，而这就是另一本书里谈论的话题了。

我们列举了这么多大大小小的数字，为的就是要说明地球上能进行计算的物质是很少的，如果把地球上所有的物质统统算起来，人脑计算能力的稀有性会更加明显。现在让我们考虑加速回报定律的另一层含义，其另一种结果便是整体计算密度呈指数级增长。并且随着计算成本绩效的指数级增长，用于发展计算技术的资源也会增加。我们在地球上已经能发现这个现象。现在的电脑不仅能力比十几年前更加强大，数量也从20世纪50年代的几十台上升至现在的上亿台。地球上的计算密度将在21世纪成兆地上升。

计算密度是衡量智能硬件的一种方式，但其软件发展也日趋成熟。虽然软件能力仍无法与硬件设备相匹配，但也在呈指数级增长。智能密度诚然更难计算，(注)却和计算密度紧密相关。加速回报定律表明，地球和太阳系的智能会随时间推移大量增加。

此结论对整个银河系乃至全宇宙都适用。我们的星球很有可能不是唯一存在智能体的地方。智能最终将会成为一股无比强大的力量，即使对于强大的星体力量也是如此（所以我们要小心了！）。物理定律并不会马上被智能体废除，但它们会逐渐退出人们的视野。

所以，宇宙会止于大收缩，还是会止于星球的无限膨胀直至死亡，或者止于其他方式？我认为最根本的问题无关乎宇宙的质量如何，或是否存在反重力，或爱因斯坦所谓的宇宙常数。但宇宙的命运终将有结论，我们会在时机成熟之时重新审视这个问题。

---

1. 我们可以利用“忙碌的海狸”函数（详见第四章第16条注释）定量衡量软件智能。

附录一

大事年表㊟

100亿~150亿年前	宇宙诞生。
10^{-43}秒之后	温度冷却至10^{32}度，出现重力。
10^{-34}秒之后	温度冷却至10^{27}度，物质以夸克和电子的形式出现，反物质出现。
10^{-10}秒	弱电力分成电磁力和弱力。
10^{-5}秒	10^{12}度下，夸克组成了质子和中子，反夸克组成反质子。质子和中子碰撞，留下的主要为质子，同时产生光子（即光）。
之后1秒	电子和正子碰撞，留下的主要为电子。
之后1分钟	10^{9}度下，质子与中子结合组成氦、锂、重氢等元素。
大爆炸后30万年	现在的平均温度为3 000度，第一批原子形成。
大爆炸后10亿年	星系形成。
大爆炸后30亿年	星系中的物质形成不同的星体和太阳系。
大爆炸后50亿~100亿年，或约50亿年前	地球诞生。
34亿年前	地球上出现第一种生物性生命：厌氧原核生物（即单细胞生物）。
17亿年前	简单DNA出现。
7亿年前	多细胞动植物出现。

5.7 亿年前	寒武纪爆炸发生：出现了多种形态的生物，包括硬体（壳和头骨）动物。
4 亿年前	陆生植物出现。
2 亿年前	恐龙和哺乳动物开始共享生存环境。
8 000 万年前	哺乳动物进化得更充分。
6 500 万年前	恐龙开始灭绝，哺乳动物自此占据主导。
5 000 万年前	灵长动物的类人猿亚目单独分离出来。
3 000 万年前	猴子、猩猩等高级灵长类动物出现。
1 500 万年前	第一种类人猿出现。
500 万年前	类人猿可以用两条腿走路。能人可以使用工具，进入进化的下一阶段：技术的运用。
200 万年前	直立人已能使用火，并且能使用语言和武器。
50 万年前	智人出现，其明显特征为创造技术的能力（包括工具的创造、工具制造的记录和工具的完善）。
10 万年前	尼安德特人出现。
9 万年前	现代智人（我们的直接祖先）出现。
4 万年前	现代智人亚种是地球上唯一存活下来的类人类亚种。技术随着其他方面的进化而发展。
1 万年前	现代技术始于农业革命。
6 000 年前	美索不达米亚平原出现了最早的城市。
5 500 年前	人们开始使用轮子、皮筏、船和书面语言。
5 000 多年前	东方人发明了算盘。人们使用算盘进行计算，计算方法与现代计算机使用的方法类似。
公元前 3 000~公元前 700 年	漏壶在世界各地出现：中国（约公元前 3000 年）、埃及（约公元前 1500 年）、亚述（约公元前 700 年）。
公元前 2500 年	埃及向先知寻求意见，这些先知通常是里面藏有祭司

[illegible]	的雕像。
公元前 469~公元前 322 年	苏格拉底、柏拉图和亚里士多德形成了西方理性哲学的基础。
公元前 427 年	柏拉图在《斐多篇》和之后的著作中提出了人类思想和机器运行机制间的比较。
约公元前 420 年	柏拉图的朋友，他林敦的阿契塔制造了一只木鸽，由气流或压缩空气提供动力。
公元前 387 年	柏拉图建立了探索科学和哲学的柏拉图学院，为数学理论的发展提供了优良的学术环境。
约公元前 200 年	中国工匠发明了精细的自动操作装置，包括一整套机械管弦乐队。
约公元前 200 年	一位埃及工程师发明了更精确的漏壶。
725 年	一位中国工程师和僧人共同建造了世界上第一台机械钟，它由水力驱动，由司行轮保证钟表运行。
1494 年	达 · 芬奇构思出带有摆针的钟，并将其画了出来，虽然精确的摆钟直至 17 世纪末才被真正发明制造出来。
1530 年	欧洲开始使用纺车。
1540 年，1772 年	欧洲文艺复兴时期，更精细的自动操作装置生产技术已不再仅限于钟表制作。最著名的有意大利发明家贾内洛 · 托利亚诺（Gianello Toriano）建造的“演奏曼陀林的女士”（1540 年）和瑞士发明家皮埃尔 · 雅凯–多尔茨（P. Jacque-Dortz）制造的一个机器人小孩（1772 年）。
1543 年	波兰天文学家尼古拉斯 · 哥白尼在《天体运行论》中提出地球和其他星球一起围绕太阳运行。他的理论彻底改变了人们对上帝的观点和人类与上帝的关系。

[illegible] 世纪	启蒙运动最先在哲学领域发生，提出人类理性、知识和自由三者至上的理念。启蒙运动的根源可追溯到古

17~18 世纪	希腊哲学和欧洲文艺复兴运动，自柏拉图主义者之后，启蒙运动首次系统地考量了人类思想与知识的本性，推动了科学与神学的发展。
1637 年	法国数学家勒内·笛卡尔不仅发现光的折射现象并进一步发展了现代分析几何学，还在其著作《方法论》中淋漓尽致地论述了理性怀疑论。他认为“我思故我在”。
1642 年	法国数学家布莱士·帕斯卡发明了世界上的第一台数字计算器，名为“帕斯卡林”（Pascaline），可进行加减法的运算。
1687 年	英国科学家牛顿在《自然哲学的数学原理》中提出了三大运动定律和万有引力定律。
1694 年	微积分发明者、德意志数学家戈特弗里德·莱布尼茨完善了莱布尼茨计算机，这台机器可以通过重复加法的途径进行乘法运算，这种方法至今仍在计算机中有所使用。
1719 年	一家拥有 300 名雇员（其中大多数为妇女儿童）的丝线工厂在英国出现，这被广泛认为是近现代第一家工厂。
1726 年	英国作家乔纳森·斯威夫特（Jonathan Swift）在《格列弗游记》中描述了一台能自动写书的机器。
1733 年	英国钟表匠约翰·凯伊申请了新型拆织羊毛机器的专利，即后来的飞梭，为以后的快速织布奠定了基础。
1760 年	在费城，美国科学家本杰明·富兰克林通过 1752 年著名的风筝实验发现了雷电是一种电流，并制造了避雷针。
约 1760 年	工业革命初期，北美和欧洲西北部的人均预期寿命为 37 岁。
1764 年	英国纺织工詹姆斯·哈格里夫斯发明了珍妮纺纱机，一次可同时纺 8 根线。

1769 年	英国人理查德·阿克赖特申请了水力纺纱机的专利，但这种纺纱机体积庞大，造价高昂，不适合家用。同时，理查德于 1781 年开办了机器纺纱厂，被誉为“近代工厂之父”，这为工业革命的经济和社会各项变化奠定了基础。
1781 年	德意志哲学家伊曼努尔·康德出版了著作《纯粹理性批判》，阐述了启蒙运动的哲学并批判了形而上学，为 20 世纪理性主义的兴起搭起了舞台。
1800 年	棉布生产的各个环节都已实现自动化。
1805 年	法国发明家约瑟夫·玛丽·雅卡尔设计出一种自动织布的方法，也是早期计算机技术的先驱。这台织布机是根据一系列穿孔卡片上的指令运作的。
1811 年	英国的工匠和工人担心因自动化而失业，在诺丁汉掀起了勒德运动。
1821 年	因为其论文《机器在数学表计算中的应用》，英国天文协会将第一枚金章授予了英国数学家查尔斯·巴贝奇。
1822 年	巴贝奇研究了差分机，虽然最终他摒弃了这台技术复杂、造价高昂的机器，并潜心研究通用计算机。
1825 年	英国发明家乔治·史蒂芬森的第一台蒸汽引擎“火车头一号”正式开运，开始搭载乘客与货物。
1829 年	美国发明家威廉·奥斯汀·伯特发明了第一台打字机。
1832 年	巴贝奇研究出了分析机的运作原理，这是第一台计算机（虽然从未工作过），可以被设置编程解决各种计算和逻辑问题。
1837 年	美国发明家摩尔斯申请了电报专利。这种电报更为实用，以点、长划组成的密码发送信件，这一系统一直沿用了一个多世纪。
[illegible] 年	法国人达盖尔发明了一种新型照相方法，名为“银板

1839 年	照相法”。
1839 年	英国人威廉姆 · 罗伯特 · 格鲁夫发明了第一个燃料电池。

1843 年	世界上第一位电脑编程师，也是大诗人拜伦唯一合法子嗣阿达 · 洛芙莱斯出版了她的手记和L · P · 梅纳布勒论巴贝奇分析机的译稿。她深入研究了计算机模拟人脑智能的能力。
1846 年	美国发明家伊莱亚斯 · 豪获得了双线连锁缝纫机的专利。
1846 年	英国人亚历山大 · 贝恩利用穿孔纸大大提升了电报传输的速度。
1847 年	英国数学家布尔发表了其有关符号逻辑的早期思想，后期将此发展成二进制逻辑与算术理论。这些理论组成了近代计算的基础。
1854 年	巴黎和伦敦通过电报取得联系。
1859 年	英国生物学家达尔文在其著作《物种起源》中阐述了自然选择理论及其对不同物种进化产生的影响。
1861 年	旧金山与纽约通过电报取得联系。
1867 年	法国发明家齐纳布 · 格拉姆发明了第一台有商业价值的实用交流发电机。
1869 年	美国发明家爱迪生发明了证券行情自动记录收报机，并以 4 万美元的价格出售给了华尔街。
1870 年	按 1958 年美元价值和人均资产计算，美国国民生产总值为 580 美元。31% 的美国人口（约 1 200 万人）拥有一份工作，仅 2% 的成年人拥有高中学历。
1871 年	巴贝奇弥留之际留下了 400 多平方英尺[①] 的分析机图纸。
1876 年	美国发明家贝尔发明的电话被授予第 174465 美国专利号，这是当时最赚钱的专利发明。
1877 年	英国数学家威廉 · 汤姆森，即后来的开尔文男爵，证明了可以通过编程让机器解决数学问题。
1879 年	爱迪生发明了可以长期持续照明的白炽灯。
1882 年	爱迪生为纽约珍珠街车站设计了电力照明系统。

注

1884 年	美国人刘易斯 · 沃特曼获得了钢笔专利。
1885 年	波士顿和纽约通过电话取得联系。
1888 年	美国人威廉 · 巴罗斯获得了第一台键盘驱动加法机的专利。4 年后，这种计算机增加了减法和打印功能，并被广泛使用。
1888 年	赫兹成功传输了无线电波。
1890 年	美国统计学家赫尔曼 · 霍尔瑞斯在雅卡织布机和巴贝奇分析机的基础上利用穿孔卡片设计了机电信息机并获得专利。这种机器在 1890 年全美人口普查中中标，从而向重大数据处理项目中引进了电力的使用。
1896 年	霍尔瑞斯建立了制表机器公司，这家公司最终发展成现在的 IBM 公司。
1897 年	英国物理学家约瑟夫 · 约翰 · 汤姆逊利用更先进的真空泵首次发现了比原子更小的粒子单位——电子。
1897 年	俄国物理学家亚历山大 · 波波夫利用天线传输了无线电波。意大利发明家古列尔莫 · 马可尼获得了第一项无线电相关的专利，并帮忙组办了一家公司，向市场推销其系统。
1899 年	利用电磁可在电线和薄金属条上记录下声音。
1900 年	霍尔瑞斯在其信息机器中引进了自动打孔卡片，改进了 1900 年的人口普查数据处理。
1900 年	电报将文明发展的世界各地联系在一起。美国共有 140 多万部电话、8 000 辆汽车和 2 400 个白炽灯泡，白炽灯泡实现了爱迪生的承诺“电灯变得如此廉价，蜡烛成了富人才买得起的奢侈品”。此外，英国留声机公司大打广告，为消费者提供 5 000 张唱片。
1900 年	全美超过 1/3 的工人从事粮食生产。

1901 年	布肯迪弗电力公司制造了第一台电力打字机。
1901 年	奥地利心理学家弗洛伊德出版了著作《梦的解析》，这本著书连同弗洛伊德的其他著作帮助解析了人类的内心活动。
1902 年	美国工程师米勒·哈饮森（Millar Hutchinson）发明了第一台电子助听器。
1905 年	马可尼发明了定向无线电天线。
1908 年	莱特兄弟发明的第一架可飞行一小时以上的飞机试飞。
1910~1913 年	英国数学家罗素与其老师怀特海出版了《数学原理》。这本书为数学研究指明了一种新的方法，在数学发展史中有着重要地位。
1911 年	霍尔瑞斯收购了几家公司，制表机器公司改名为“列表计算机记录公司”（CTR）。
1915 年	旧金山的托马斯·沃森和纽约的贝尔参与了横跨北美大陆的远程电话通话。
1921 年	捷克科幻作家卡雷尔·恰佩克（Karel Čapek）于 1917 年首次提出“机器人”（robot）这个术语。他在其畅销科幻小说《罗素姆万能机器人》（*Rossum's Universal Robots*）中描述了一种智能机器，它们被创造的初衷是服务于人类，却最终掌控了世界，并毁灭了人类。
1921 年	奥地利哲学家路德维希·维特根斯坦出版了《逻辑哲学论》。这本书被认为是 20 世纪最有影响力的哲学著作，维特根斯坦也被认为是第一位逻辑实证主义者。
1924 年	托马斯·沃森重新将计算制表记录公司命名为 IBM，并担任首席执行董事。IBM 公司之后领导了现代计算机产业，并成为该领域全球范围内的佼佼者。
1925 年	丹麦物理学家尼尔斯·玻尔（Niels Bohr）和德国物理学家维尔纳·海森堡（Werner Heisenberg）构思了量子力学的基础。

1927 年	海森堡提出了不确定性原理，认为无法精确测定电子的位置，只能得到其可能位置的云。5 年之后，他因为量子力学发现获得了诺贝尔奖。
1928 年	英国数学家约翰 · 冯 · 诺依曼提出最大值和最小值定理，这条定理在之后的游戏程序中有广泛应用。

1928 年	美国发明家菲洛 · 法恩斯沃思（Philo T.Farnsworth）制造了第一台全电子电视机，苏联发明家弗拉基米尔 · 斯福罗金（Vladimir Zworkin）则获得了彩色电视机的专利。
1930 年	在美国，60% 的家庭都有了收音机，个人拥有的收音机数量超过 1 800 万台。
1931 年	美国数学家库尔特 · 哥德尔提出了不完全性定理，该定理被认为是数学中最重要的定理。
1931 年	德国物理学家恩斯特 · 鲁斯卡（Ernst August Friedrich Ruska）和吕登伯格（Rheinhold Ruedenberg）分别发明了电子显微镜。
1935 年	第一台人造心肺机原型出现。
1937 年	美国天文学家格罗特 · 雷伯（Grote Rober）制造了第一台无线电望远镜，直径 9.4 米。
1937 年	英国数学家艾伦 · 图灵在其论文《论可计算的数字》（*On Computable Numbers*）中以罗素和巴贝奇的研究成果为基础，提出了计算机的理论模型——图灵机器。
1937 年	美国数学家阿隆佐 · 邱奇（Alonzo Church）和艾伦 · 图灵分别深入研究了邱奇—图灵论题。该论题说明：人类可解决的所有问题都能简化为一系列算术问题，这支撑了机器智能与人类智能等同的观点。
1938 年	匈牙利记者拉兹洛 · 比罗（Lazlo Biro）获得了圆珠笔的专利。

1939年	固定的商业航班开始在太平洋上空飞行。
1940年	美国人约翰·阿塔纳索夫（John V. Atanasoff）和他的研究生克利福特·贝瑞（Clifford Berry）制造了第一台（不可编程的）电子计算机ABC。
1940年	英国“战时万人小组”Ultra制造了第一台可操作计算机“鲁滨孙”（Robinson）它利用继电器成功破解了纳粹使用的第一代密码机Enigma的加密信息。

1941年	德国人康拉德·楚泽（Konrad Zuse）制造了第一台可编程计算机Z–3。盲人数学家阿诺德·法斯特（Arnold Fast）受雇为Z–3编程，他也被认为是第一位可操作可编程计算机的编程师。
1943年	美国人沃伦·麦卡洛克（Warren McCulloch）和沃尔特·皮茨（Walter Pitts）在其著作《神经活动中内在思想的逻辑运算》（*Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity*）中探究了智能的神经网络构造。
1943年	英国“战时万人小组”Ultra继而制造了Colossus机器，成功破解了德军更为复杂的加密信息，为“二战”同盟国的胜利做出了巨大贡献。Colossus采用的电子管运算速度比“鲁滨孙”的继电器速度要快100~1 000倍。
1944年	美国人霍华德·艾肯（Howard Aiken）制造出了Mark I.，这是美国人首次利用穿孔纸带进行编程、利用真空管进行计算、成功制造的第一台可编程计算机。
1945年	新泽西普林斯顿高级研究所教授约翰·冯·诺依曼发表了现代第一篇论述存储程序概念的论文。
1946年	美国计算机工程师约翰·埃克特（John Presper Eckert）和约翰·莫奇勒博士（John W. Mauchley）发明了第一台军用全电子通用（可编程）数码计算机ENIAC，其运行速度比Mark I.快了近1 000倍。
	电视更新换代的速度远快于20世纪20年代收音机发

1946 年	展的速度。在美国，1946 年仅有 0.02% 的家庭中有电视机，到 1972 年该百分比已跃至 72%；1983 年，90% 以上的家庭都已有了电视。
1947 年	美国人威廉·布拉德福德·肖克利（William Bradford Shockley）、沃尔特·豪泽·布拉顿（Walter Hauser Brattain）和约翰·巴丁（John Bardeen）发明了晶体管。这种微型设备功能与真空管相似，能以极高的速度转换电流，是微电子领域具有改革性的发明，为实现计算机低成本化做出了贡献，也促进了大型电脑和微型电脑的发展。
1948 年	美国数学家诺伯特·维纳（Norbert Wiener）出版了信息理论领域的开创性著作《控制论》（*Cybernetics*），并提出控制论的概念——一门关于对动物和机器进行控制以及与之交流的科学。
1949 年	英国人莫里斯·威尔克斯（Maurice Wilkes）在埃克特和莫奇勒成果的基础上制造了第一台存储程序式计算机EDSAC。不久之后，埃克特和莫奇勒的新公司又推出了计算机BINAC。
1949 年	乔治·奥威尔（George Orwell）在其著作《1984》中描述了一个冰冷可怕的世界，在那个世界里，大官僚机构利用计算机监控奴役着人民。
1950 年	埃克特和莫奇勒推出了第一台商用计算机UNIVAC，它被用作编写美国人口普查的结果，这也标志着人口普查第一次由可编程计算机处理完成。
1950 年	艾伦·图灵在论文《计算机器和智能》（*Computing Machinery and Intelligence*）中提出了一种测定机器是否智能的方法——图灵测试。
1950 年	商用彩色电视机首次在美国播出，这之后的一年中，横贯大陆的黑白电视也相继出现。

1950 年	美国数学家克劳德·埃尔伍德·香农（Claude Elwood Shannon）发表文章《编写一个计算机下象棋程序》（*Programming a Computer for Playing Chess*），刊登于《哲学杂志》（*Philosophical Magazine*）。
1951 年	埃克特和莫奇勒制造了第一台采用存储程序概念的计算机EDVAC，整个制造过程在宾夕法尼亚大学摩尔学院完成。
1951 年	巴黎举办了控制论大会。
1952 年	美国哥伦比亚广播公司利用UNIVAC成功预测出德怀特·艾森豪威尔赢得大选，当选美国总统。
1952 年	便携式晶体管收音机问世。
1952 年	美国人纳撒尼尔·罗切斯特（Nathaniel Rochester）设计了IBM第一台生产线制造的电子数字计算机“701号”，主要用于科学研究。
1953 年	美国生物学家詹姆斯·沃森（James D. Waston）和英国生物学家弗朗西斯·克里克（Francis H. C. Crick）发现了DNA分子的化学构造。
1953 年	奥地利哲学家路德维希·维特根斯坦出版了《哲学研究》（*Philosophical Investigations*），爱尔兰小说家塞缪尔·贝克特（Samuel Beckett）的短剧《等待戈多》（*Waitting for Godot*）演出，这两部作品对现代存在主义有着重要意义。
1953 年	美国人马文·明斯基和约翰·麦卡锡得到了贝尔实验室的暑期临时工作。
1955 年	威廉·肖克利教授建立了半导体实验室，从此开创了美国硅谷。
1955 年	雷明顿兰德公司和斯佩里陀螺仪公司合并为斯佩里—兰德公司，在相当长一段时间内和IBM公司形成

	了激烈竞争。
1955 年	在计算能力同等的条件下，IBM采用 2 200 个晶体管代替了原来的 1 200 个真空管，制造了其第一台晶体管计算器。
1955 年	一家美国公司设计了第一台类似机器人的机器，在工业生产中使用。
1955 年	美国人艾伦 · 纽威尔（Allen Newell）、J · C · 肖（J. C. Shaw）和赫伯特 · 西蒙（Herbert Simon）创造了第一种人工智能语言IPL-II。
1955 年	新太空计划和美国军方都意识到，在探月火箭和平流层导弹的发射中，计算机拥有足够的运算能力十分重要，两家机构均为此项研究投入了大量资金。
1956 年	艾伦 · 纽威尔、J · C · 肖和赫伯特 · 西蒙开发了采用递归搜索技术解决数学问题的程序“逻辑理论家”。
1956 年	美国计算机科学家约翰 · 巴克斯及IBM的团队共同发明出第一种科学化的计算机编程语言FORTRAN。
1956 年	美籍波兰数学家斯塔尼斯拉夫 · 乌拉姆（Stanislaw Ulam）开发了计算机程序MANIAC I，首次在象棋比赛中战胜了人类。
1956 年	法国Lip公司推出了第一款商用电子电池手表。
1956 年	术语“人工智能”首次在达特茅斯学院的一次计算机大会上被提出。
1957 年	美国电脑工程师肯尼斯 · 奥尔森（Kenneth H. Olsen）创立数码设备公司。
1957 年	艾伦 · 纽威尔、J · C · 肖和赫伯特 · 西蒙开发了采用递归搜索解决问题的程序“通用问题解决家”。
	美国语言学家乔姆斯基（Noam Chomsky）编写了《句法结构》（*Synactic Structures*），其中仔细探讨了理解

1957 年	自然语言需要的计算。他的一系列著作为他赢得了“现代语言学之父”之名。
1958 年	美国得克萨斯仪器公司的工程师杰克·基尔比（Jack St. Clair Kliby）制成了集成电路。
1958 年	麦卡锡和明斯基在麻省理工学院创立了人工智能实验室。
1958 年	艾伦·纽威尔和赫伯特·西蒙预测数码计算机 10 年内将成为世界棋王。
1958 年	麦卡锡开发了早期人工智能语言 LISP。
1958 年	美国国防部高级研究计划局成立，为之后的重要计算机科学研究提供了资金。
1958 年	美国计算机科学家西摩·克雷（Seymour Cray）研制出 CDC1604 型计算机和第一台基于晶体管的超级计算机。
1958~1959 年	杰克·基尔比和罗伯特·诺伊斯（Robert Noyce）分别开发了电脑芯片，使计算机朝着价格更低、体型更小的方向发展。

1959 年	美国人亚瑟·塞缪尔（Arthur Samuel）完成了有关机器学习的研究。项目内容为一种下西洋跳棋程序，它的下棋水平与当时的世界顶尖棋手旗鼓相当。
1959 年	在美国，电子文档的使用增加了纸张消耗。1959 年，预计会消耗 700 万吨纸，1986 年预计会耗纸 2 200 万吨。1981 年美国单是商业用纸就达到 8 500 亿张，1986 年约 2.5 万亿张，1990 年约 4 万亿张。
1959 年	Mark I. 的首批编程师之一格雷斯·默里·赫柏（Grace Murray Hopper）开发设计了商用计算机语言 COBOL。
1959 年	美国施乐公司开发了第一台商用复印机。
1960 年	美国物理学家西奥多·哈罗德·梅曼（Theodore Harold Maimen）开发了第一台激光机，用于红宝石切割。

1960 年	美国国防部高级研究计划局大大增加了计算机研究的资金投入。
1960 年	此时美国有约 6 000 台电脑在运行。
20 世纪 60 年代	神经网络机器非常简单，它能将一定量的神经元组织在一两层神经网络中，其模式能力也有限。
1961 年	麻省理工学院开发了第一台分时计算机。
1961 年	美国总统肯尼迪在一次国会会议中说道:“我相信我们应该上月球。”他表示大力支持“阿波罗”计划并鼓励计算机科学研究。
1962 年	一家美国公司推出首批工业用机器人。
1962 年	美国计算机科学家弗兰克·罗森布拉特（Frank Rosenblatt）在其著作《神经动力学原理》（*Principles of Neurodynamics*）中明确定义了“感知机”。早在 1959 年的一次会议上，他首次提出了“感知机”的概念，认为这是神经网络处理的基本要素。
1963 年	麦卡锡在美国斯坦福大学创立了人工智能实验室。
1963 年	明斯基具有深远影响的著作《迈向人工智能》（*Steps Toward Artificial Intelligence*）出版。
1963 年	数码设备公司公布了首次研制成功的微型计算机 PDP-8。
1964 年	IBM 公司推出 360 系列计算机，进一步确立了它在计算机行业的领先地位。
1964 年	美国达特茅斯学院资深职员托马斯·库尔茨（Thomas E. Kurtz）和约翰·肯尼（John G. Kenny）发明了 BASIC（Beginner’s All–purpose Symbolic Instruction Code，初学者通用符号指令码）。
1964 年	美国人丹尼尔·博布罗（Daniel Bobrow）完成了博士科研成果 Student 软件——一种能破解高中阶段代数词汇的自然语言程序。

1964 年	美国科学家戈登·摩尔于 1964 年预测集成电路的复杂度将逐年成倍增加，这就是后来的摩尔定律，这一定律在之后的几十年中逐渐被证实（后略有修正）。
1964 年	加拿大人马歇尔·麦克卢汉（Marshall McLuhan）在其著作《理解媒体》（*Understanding Media*）中预测电子媒体，尤其是电视有潜力建立起一个“全球村”，其中，信息充当了传播媒介。
1965 年	美国人拉贾·雷迪（Raj Reddy）在卡内基–梅隆大学创立了机器人研究所，后来成为人工智能研究的核心基地。
1965 年	美国哲学家休伯特·德雷福斯在兰德公司备忘录《炼金术与人工智能》（*Alzhemy and Artificial Intelligence*）一文中提出了一系列哲学论据，反对人工智能。
1965 年	赫伯特·西蒙预测，到 1985 年，“机器将有能力完成所有人类能做的事情”。
1966 年	美国人史蒂芬·格雷（Stephen B. Gray）创立了业余计算机协会，这或许是首家个人计算机俱乐部，《业余计算机学会通讯》（*The Amateur Computer Society Newsletter*）是首批有关计算机的杂志之一。
1967 年	美国尼克斯理疗中心利用集成电路制造了第一台体内心脏起搏器。
1968 年	戈登·摩尔和罗伯特·诺伊斯创立英特尔公司。
1968 年	美国科幻作家亚瑟·克拉克和导演斯坦利·库布里克（Stanley Kubrick）共同推出的电影《2001 太空漫游》（*2001: A Space Odyssey*）激发出一种构思——能实现看、听、说、思的计算机。
	美国人工智能专家明斯基和西摩·佩珀特在其著作《感知器》（*Perceptrons*）中阐述了单层神经网络的局

1969 年	限性，他们认为感知器无法确定神经线路是否完整连接。这本书的出版大大减少了各方在神经网络研究中的投资。
1970 年	按 1958 年美元价值和人均计算，美国人均生产总值为 3 500 美元，是一个世纪之前总值的 6 倍之多。
1970 年	软盘出现，被用作计算机的数据存储工具。
约 1970 年	美国施乐帕洛阿尔托研究中心推出了第一台个人电脑 AIto，开创了位图、窗口、图标和鼠标指点设备使用的先河。
1970 年	美国人特里 · 威诺格拉德（Terry Winograd）完成了其里程碑式的论文，内容有关于一种能展示儿童不同智能行为的自然语言系统 SHRDLU(积木世界操纵程序)。但 SHRDLU 被指出缺乏通用性。
1971 年	英特尔公司推出第一代微型处理器英特尔 4004。
1971 年	首个便携式计算器问世，它能进行加、减、乘、除的运算。
1972 年	休伯特 · 德雷福斯一如既往对人工智能的能力持批评态度。在《电脑不能做什么》(*What Computers Can't Do*）一书中，他指出，对符号的掌控并不能成为人工智能发展的基础。
1973 年	美国生物化学家斯坦利 · 科恩（Stanley H. Cohen）和赫伯特 · 博耶（Herbert W. Boyer）展示了 DNA 双股可被切割、组合并通过被注射到大肠杆菌中加以复制。这一成果为基因工程奠定了基础。
1974 年	第一份适合家用电脑爱好者阅读的杂志《创意计算机》（*Creative Computing*）开始发行。

1974 年	英特尔公司推出第一代通用型微型处理器——8 位的 8080。
1975 年	美国微型计算机销量超过 5 000 台。第一代个人电脑

[illegible]	Altair 8800 问世，有 256 字节的内存。
1975 年	第一份计算机畅销杂志《*BYTE*》发行。
1975 年	戈登·摩尔修正其部分观点，将集成电路中晶体管的集成速度由原来的每一年翻番变为每两年翻番。
1976 年	库兹韦尔计算机产品公司推出了第一台为盲人设计的印刷文字转语音式库兹韦尔阅读机（KRM）。KRM 以全字体光符识别技术为基础，可以将任何印刷材料（包括书籍、杂志和打印文本）扫描后转换成语音。
1976 年	美国人史蒂芬·沃兹尼亚克（Stephen G. Wozniak）和史蒂芬·乔布斯（Steven P. Jobs）创立苹果电脑公司。
1977 年	电影《星球大战》（*Star War*）通过幻想构造出了具有人类情感、有生命的机器人。
1977 年	一家电话公司首次在电话系统中进行大规模光纤实验。
1977 年	第一批组装销售并配置了彩色显卡的个人电脑 Apple Ⅱ问世并大卖。
1978 年	得克萨斯设备公司推出了儿童定制学习辅助器 Speak & Spell，这是第一种在芯片上加载人类语音的电子产品。
1979 年	《美国医学协会杂志》（*Jaurnal of the American Medical Association*）中刊登了一篇 9 位研究学者完成的研究报告，报告比较了计算机程序 MYCIN 与人类医生对 10 例脑膜炎病例的诊治情况，结果显示 MYCIN 与医生专家的能力在伯仲之间，医药专家系统的潜力得到广泛认可。
1979 年	美国人丹·布里克林（Dan Bricklin）和鲍伯·弗兰克斯顿（Bob Frankston）开发出第一种电子数据表 VisiCalc，将个人电脑发展成商务工具。
1980 年	1980 年，人工智能领域的市场利润达上百万美元。

20 世纪 80 年代	随着神经模式的日益成熟，神经网络算法逐渐回到人[illegible]

	们的视线。人们开始广泛使用多层神经网络层。
1981 年	施乐公司推出“明星计算机”（Star Computer），引出了“桌面出版”的概念。之后苹果公司 1985 年推出的 Laser Writer 进一步为作家和画家们提供了低价高效的作品流通途径。
1981 年	IBM 推出了 PC（个人电脑）系列。
1981 年	佳能公司构思出了喷墨打印机原型。
1982 年	激光唱片机首次上市。
1982 年	美国人米切尔 · 卡普尔（Mitch Kapor）推出了一种极受欢迎的电子表程序 Lotus 1-2-3。
1983 年	传真机迅速成为商务界的必需品。
1983 年	首届北美音乐制作节上展销了 MIDI（乐器数字接口）。
1983 年	在美国已售出 600 万台个人电脑。
1984 年	苹果 Mac（麦金塔计算机）在施乐公司产品的基础上推出了“桌面比喻”，包括位图、图标和鼠标。
1984 年	美国作家威廉 · 吉布森（William Gibson）在其小说《神经漫游者》（*Neuromancer*）中使用了术语“赛博空间”（cyberspace）。
1984 年	库兹韦尔 250（K250）音响合成器上市，这被认为是第一台成功模仿真实乐器声音的电子产品。
1985 年	明斯基出版了《思维社会》（*The Society of Mind*），其中他提出了一种思维理论，认为智能是不同层次思维在特定组合下产生的结果，最底层的思维的机制最简单。
1985 年	美国麻省理工学院前校长杰尔姆 · 韦斯纳（Jerome Weisner）和尼古拉斯 · 内格罗蓬特（Nicholas Negroponte）建立了麻省理工媒体实验室，致力于媒体技术中的计算机科学、社会学和人工智能可能产生的应用与关联。

1985 年	全美 1870 年有 1 200 万个工作岗位，现在有 1.16 亿个。同期就业率也从原来的 31% 上升至 48%，按 1985 年美元价值计算，人均国民生产总值上升了 600%，并且仍保持迅猛的增长势头。
1986 年	电子键盘占美国音乐市场的比重由 1980 年的 9.5% 增加至 55.2%。
1986 年	美国人口预期寿命为 74 岁，仅有 3% 的劳动力从事粮食生产。76% 的美国成人拥有高中学历，全美有 730 万在校大学生。
1987 年	纽约证券交易所创下单日亏损最大纪录，部分原因是交易计算机化。
1987 年	现有的语音系统可提供大量词汇、连续语音识别和与语者无关的语音辨识功能。
1987 年	机器人视觉系统市值为 3 亿美元，到 1990 年增至 8 亿美元。
1988 年	计算机存储器的价格只有 1950 年的亿分之一。
1988 年	明斯基和派珀特出版了修订版《感知器》（*Perceptrons*），讨论了近期神经网络智能机器的发展。
1988 年	这一年，美国国内卖出了 470 万台微型计算机、12 万台小型计算机和 1.15 万台大型计算机。
1988 年	美国计算机科学家丹尼·希利斯的连接机能同时进行 65 536 项计算。
1988 年	笔记本电脑正在逐渐替代体积略大的手提电脑。
1989 年	英特尔公司推出 16 兆的 80386SX 型计算机和 2.5 MIPS 微型处理器。
1990 年	第一份 CD-ROM 杂志《鹦鹉螺》（*Nautilus*）出版。
1990 年	美国计算机科学家蒂姆·伯纳斯·李（Tim Berners-Lee）开发了超文本标识语言，位于瑞士日内瓦的欧洲

	原子核研究委员会（CERN）发行了此语言，由此提出“万维网”的概念。
1991 年	手机和电子邮件日益流行，成为商务和个人通信工具。
1992 年	日本NEC电气集团推出了第一台双倍速CD-ROM驱动器。
1992 年	美国芝加哥消费者电子产品展览中展出了第一台掌上个人数字助理（PDA），开发商为苹果公司。
1993 年	英特尔公司推出奔腾 32 位微型处理器，该芯片由 310 万晶体管集成。
1994 年	万维网问世。
1994 年	美国在线网有 100 多位注册用户。
1994 年	扫描仪和CD-ROM普及。
1994 年	数字设备公司推出了 300M（兆）的Alpha AXP处理器，每秒能执行 10 亿条指令。
1996 年	康柏计算机公司和日本NEC电气集团共同推出装有Windows CE系统的掌上电脑。
1996 年	日本NEC电气集团为个人数字助手开发了R4101 型处理器，包括一个触摸式接口。
1997 年	“深蓝”计算机击败了世界国际象棋冠军加里·卡斯帕罗夫。
1997 年	Dragon System（龙系统）公司推出了第一代连续语音听写软件Natually Speaking。
1997 年	商务会议中开始使用可视电话。
1997 年	工资支票现金机上开始使用脸部识别系统。
1998 年	Lernout & Hauspie语音听写产品公司（前身为库兹韦尔应用智能公司）推出了Voice Xpress Plus，这是第一种能理解自然语言指令的连续语音识别程序。

1998 年	电话中进行的常规商务交易开始可以在人类顾客和自动系统间通过对话进行（如预订美国航空公司的机票）。
1998 年	利用进化算法和神经网络进行决策的投资基金出现（如高级投资技术公司）。
1998 年	万维网普及，从中学生到地方杂货铺都有自己的网址页面。
1998 年	具有人类长相、说话符合真实口型变化和面部变化的自动机器人开始在实验室中工作，他们能对人类使用者的口述和面部表情做出反应。它们的开发是为了未来产品和服务用户接口的应用，能充当人性化的研究和商务助手，并能进行交易。
1998 年	Microvision（维视）公司的虚拟视网膜显示器（VRD）能直接将图像投射到用户的视网膜上。虽价格高昂，但到 1999 年将能研制出适合消费者购买的版本。
1998 年	为了实现本地局域网络和个人电脑周边设备间的无线通信以及高速宽带连接入网，蓝牙技术和无线通信技术正要应运而生。
2009 年	一台 1 000 美元的个人电脑每秒能进行 10 亿次运算。 备有高分辨率的个人电脑的大小和形状更多样化，有小到嵌入衣服和珠宝内的，大如一本薄书的。 电缆在消失。各部件间的通信通过短距离无线技术实现。高速无线通信可连接入网。 大多数文本都由连续语音识别听写软件创建，语言用户接口也已普及。 大部分常规商业交易（购买、旅游和预定）在人类和虚拟人格间进行，通常情况下，虚拟人格有一个具有类似人类脸部的视觉界面。 虽然传统的教室仍然普遍存在，但智能课程软件也成了常用的教学方法。 为视觉障碍者设计的便携式阅读机、为听觉障碍者设

	计的听力机（即语音转成文字机器）和为身体残障者设计的计算机控矫正仪使人产生一种感觉：常见的身体残疾并不会给生活带来不便。 翻译电话（语音与语音间的翻译）被广泛使用。 计算机技术的加速回报效应导致经济的持续膨胀。20 世纪计算机价格已经不断下降，现已扩散至其他领域，其原因是所有的经济领域都深深受到电脑性价比加速上升的影响。 人类音乐家和电脑音乐家结合在了一起。 生物工程疗法降低了癌症、心脏病和其他疾病的死亡率。 新勒德运动蠢蠢欲动。

2019 年	一台 1 000 美元的计算设备计算能力与人脑的计算能力基本相当。 现在的计算机大多是隐形的，它们镶嵌在各处——墙壁、桌椅、衣服、首饰里，还有身体里，无处不在。 3D 虚拟现实显示器内置于镜片或隐形眼镜中，为与他人、网络以及虚拟现实交流提供主接口。 大部分同计算机的互动都是通过手势表情以及自然语言的双向口语交流这两种方式实现的。 纳米工程机器开始投入制造业和过程控制领域中。 高分辨率的三维视听虚拟现实和现实中的全方位触感使人们在虚拟现实中可以忽略实际位置的远近与任何人进行交流。 纸质书籍和文件已很少见，大部分学习过程都是由基于智能软件的仿真教师来引导的。 失明者普遍用上了安装在眼镜上的阅读导航系统，失聪者则通过失聪者专用镜片显示器来阅读别人说的话，肢体障碍者通常使用由计算机控制的神经仿真系统与骨骼机器人装置的结合体走路或爬楼梯。 大部分交易都有一个仿真人。 几乎所有的道路都安装着自动驾驶系统。

	人们开始和自动仿真人建立关系，把它们当作同伴、老师、管理员或者爱人。 虚拟艺术家开始出现在各个艺术领域，并且有了自己的知名度。 已有很多关于计算机成功通过图灵测试的报道，虽然这些实例还没有达到博学的学者们制定的标准。 一台 1 000 美元的计算机计算能力相当于大约 1 000 个人脑。 永久型和可卸型眼部植入器（类似隐形眼镜）以及耳蜗植入器为人类用户和世界计算机网络间提供输入和输出服务。 直接神经通道也已完善，它能以高速宽带的方式与大脑连接。人们也可获得各种不同的神经植入器，进一步强化其视听的感知、理解、记忆和逻辑能力。

（续表）

2029 年	自动代理器可以自主学习，机器创造出了许多新的知识，其中几乎没有人类的参与。电脑已读完了所有可读的人类和电脑创作的文学作品与其他多媒体资源。 直接利用神经连接的全方位视听、触感通信技术也已广泛使用，触觉通信技术已不需要再进入“全触觉密闭环境”。 大部分通信不再需要人的参与，即使涉及人类，也是人类与机器之间的通信交流。 生产、农业和交通产业中不再有人类的身影，大部分人类都有了基本需求的保障。 人们越来越多地讨论起机器的合法权益，讨论人类的构成。 计算机似乎正在通过图灵测试，但对于机器智能是否达到了人类智能的水平，仍存在很大争议。 机器们声称自己有了主观意识，并且它们的这些宣言大部分都被人们接受了。
	纳米技术生产的食品普及，这类食物营养组成均衡

2049 年	纳米技术生产的食品普及，这类食物营养组成均衡，和有机食品的口感一样。这就意味着食物的供应不再受资源、天气或变质腐烂的限制。 纳米机器人云端集成项目被用于制造人类的视听和触觉感受，在现实生活中也有所应用。
2072 年	皮米工程（在皮米级别实行的技术，一皮米为一万亿分之一米）可行化。
到 2099 年	有一种很强的趋势将人类思维同人类最初创造的机器智能世界兼并在一起。 人类和计算机之间不再有明显的区别。 大部分有意识的实体都没有永久的物质形态。 这些基于机器的智能体完全由人类智能模型衍生而来，虽然它们的大脑构造并非以碳基细胞进程为基础，而是电子和光子的等价物。这些智能体大都与具体的计算处理单元（即一种硬件）无直接相连。使用软件进行计算的人数远多过使用自身神经元计算的人数。
到 2099 年	甚至在依旧使用碳基神经元的人类智能体中，神经植入技术也已普及，这大大提高了人类的感知和认知能力。那些没有采用植入技术的人们也无法与采用植入技术的人进行有意义的对话。 由于大多数信息都是利用标准解读过的知识流程公布的，信息能直观地为人们所理解。教育和智能体的目的是发现需要学习的新知识。 费米工程（在费米级别实行的技术，一费米为 1 000 万亿分之一米）的提议引起争议。 对智能生命来说，平均寿命已经不再是个有意义的术语。
几千年后	智能体将会思考宇宙的命运。

1. 1平方英尺≈0.09平方米。——编者注

2.　　“大事年表”的参考资料包括Raymond Kurzweil, The Age of Intelligent Machines（Cambridge, MA:MIT Press, 1990）.

Joseph Silk, A Short History of the Universe（New York: Scientific American Library, 1994）;Joseph Silk,The Big Bang （San Francisco: W H. Freeman and Company, 1980）; Robert M. Wald,Space, Time and Gravity （Chicago: The University of Chicago Press, 1977）; Stephen W Hawking,A Brief History of Time （New York: Bantam Books, 1988）.

Edward O. Wilson,The Diversity of Life （New York:W W Norton and Company, 1993）;Stephen Jay Gould,The Book of Life （New York: W W Norton and Company,1993）; Alexander Hellemans and Bryan Bunch,The Timetable of Science （Simon and Schuster, 1988）.

皮米工程涉及亚原子粒子（如电子）层面的工程设计。详见第十二章第3条注释。

费米工程将涉及利用夸克内部结构进行工程设计。详见第十二章第3条注释。

The Age of Spiritual Machines

附录二

如何打造一台智能机器

“深蓝”计算机不断进化，展现出从战略高度统观整个棋局的能力，居然不知不觉地将单纯的对弈战术转变为全局性战略。这是我所见过最接近计算机智能的事情了。这是一种怪异的智能形式，也是智能的萌芽。可你能感觉到它，甚至能闻到它的气味。

——加里·卡斯帕罗夫的助手弗雷德里克·弗里德尔在“深蓝”计算机打败了自己的老板后如此评价

我写下这句话目的就在于弄明白为什么要写它。

——道格拉斯·霍夫施塔特

“你能告诉我走哪条路才能离开这里吗？”爱丽丝问。

“那就要看你想去哪儿了。”柴郡猫说道。

“我不太在乎要去哪儿……”爱丽丝回答。

“那么走哪条路也不重要了。”柴郡猫接着说。

“……只要我能到达某个地方。”爱丽丝补充了一句作为解释。

“哦，当然啦，”柴郡猫说，“只要你走得足够远。”

——刘易斯·卡罗尔

> 一位教授刚刚在一所教风甚严的大学完成了一场关于宇宙起源和结构的讲座，一位穿着网球鞋的老太太走到讲台上说：“不好意思，先生，但是您刚才全讲错了。事实是，宇宙正坐在一只大乌龟的背上”。教授决定迁就她的想法，问道：“真的吗？那你告诉我，这只乌龟站在什么东西上面呢？”老太太脱口而出，回答道：“它站在另一只乌龟的背上。”教授接着问：“那另一只乌龟站在什么东西上面呢？”老太太干脆地回答说：“另一只乌龟”。教授又问了一遍刚才的问题。老太太的脸上划过一丝不耐烦的神情，说道：“省省力气吧，底下全是乌龟。”
>
> ——罗尔夫·兰道尔

本书第六章“构建新大脑”中指出，理解智能有点像剥洋葱——剥开一层又是一层。最后，我们得到的是很多洋葱皮而不是洋葱。换句话说，智能——尤其是人类智能是在很多层面上工作的。我们可以逐层分析理解人类智能，但整个过程要求所有的层级都按照正确的方式一起运转。

以下是我曾在第四章中描述过的三种进化模式的深入观点，每种方法都可以给定义详细的问题提供“智能”解决方案。但是智能实体所处的环境通常十分复杂，所以如果想要创造一种可以在复杂环境中反应灵活的系统，需要以适当的手段把这些方法整合起来，交流过程涉及不同层次的理解力时尤其如此。举例来说，比如我们要构建一个庞大的神经网络，并试图训练它理解所有语音和语言的复杂性，最后的成效会非常有限。如果我们能够以人类特有的方式分不同层次解决这个问题，就会获得更可观的结果。

人类大脑是用同样的方式组织在一起的，是各个特定区域的复杂集合体。我们学习了大脑的并行算法后，就可以用各种途径扩大其规模。举个简单的例子，大脑中负责逻辑和递归思维的区域是大脑皮

层，其中只有800万个神经元。我们已经构建了比它大几千倍、运转速度快几百万倍的神经网络。设计智能机器（直到机器能够从人类手里接管这档杂事为止）的关键在于设计智能的架构，将构成智能构建模块中相对简单的方法结合起来。

递归公式

以下是一个为困难的问题创造智能解决方案的简单公式。请仔细听好了，不然就会漏掉重要信息。

这个递归公式是：

“下一步，我会进行最优选择。如果完成了，就是完成了。”

也许这个公式有点儿过于简单了，我承认乍一看它确实没什么太多内容。但它所发挥的作用将令人吃惊。

我们先想一想由递归公式解决问题的经典案例：国际象棋对弈。国际象棋被认为是一种智力博弈，至少到最近为止还算是。大多数观察家仍然认为要下好一盘棋就需要良好的智力。所以，我们的递归公式在这一领域会发挥得如何呢？

国际象棋是一种一次移动一步的游戏，目标就在于要选择“最优的”每一步，那么，让我们定义一种可以进行“最优走步”的呈现。把递归公式应用到国际象棋当中，我们就可以换个说法，具体如下：

挑选最优行动方案：“挑选最优行动方案。如果我赢了，则任务完成。”

先等一下，稍后你就能看出其中的道理了。我需要进一步分解国际象棋的其他方面，也就是博弈里并不是只有我一人，我还有个对手，她也在移动。先假设她也能走出好棋。如果该假设不正确，那我就得到一次机会，而不是一个问题。那么递归公式是：

挑选最优行动方案：“假设我的对手也会挑选最优行动方案，据此我得挑选最优行动方案。如果我赢了，则任务完成。”

此时，我们需要考虑递归的本质。递归规则就是依据自身进行定义的。递归规则就是一种循环，但为了追求有效性，我们可不想永远循环下去，因此还需要一个逃离循环的出口。

为了解释清楚递归，我们还需要考虑一个例子：简单的“阶乘”函数。要计算n的阶乘，需要用n乘以（n－1）的阶乘。这是循环的部分——我们按照其自身特点定义该函数。还需要规定1的阶乘为1。这就是我们的逃离出口。

现在来计算2的阶乘。根据定义，

2的阶乘=2×（1的阶乘）。

我们已经知道1的阶乘是怎么计算机的，因此得以摆脱无限递归。将（1的阶乘）=1代入，可得：

2的阶乘=2×1=2。

回到国际象棋，可以看见挑选最优行动方案这一“函数”是递归的，因为我们按照它自身定义了最佳移动方法。对弈的棋盘策略中看上去不痛不痒的一句话“如果我赢了，则任务完成”，其实是我们的逃离出口。

我们再考虑一下我们所知的国际象棋。此处需要仔细考虑问题的定义。我们意识到要挑选最优行动方案，需要先列出可能要走的那几步棋。这并不太复杂。对弈中任何一次移动都是由规则定义的。虽然国际象棋的规则相较其他博弈更复杂，但直接易懂且容易编程。因此，我们列出了一些棋局走法并挑选出了最优走步。

但哪一种才是最优的呢？如果这种移动能让我们获胜那就太棒了。所以，我们仅需参考规则并且选择一种能立刻将住对方的王的方法即可。也许我们还没那么幸运，也许所有可能的移动方法中都没有可以让我们迅速获胜的办法，但仍然需要考虑这种移动方法究竟能让我们获胜还是失败。在这种情况下，需要考虑我们制定规则附加的那个不起眼的前提“假设我的对手也会这么做”。毕竟，获胜与否还取决于对手可能怎么做，需要站在对方的立场想一想她的最佳移动方法是什么。如何做到这一点呢？这就是递归发挥作用的时候了。有一个步骤刚好可以做到，叫作“挑选最优行动方案”，可以让它来决定对手的最优走步。

现在就可以按照以下步骤来构架设计我们的程序了。“挑选最优行动方案”程序总结出了规则允许所有可能的移动方法。它又反过来审查了每一种可能的移动方法。对于移动的每一步，它都能生成一份假设的棋盘，显示出选择此走法后棋盘上棋子的位置。这种做法仍然只要求运用国际象棋中的规则定义即可。“挑选最优行动方案”现在站在对手的立场上，尝试决定对方的最佳移动方法，然后开始从对方棋盘的角度生成所有可能的走步。

“挑选最优行动方案”程序会不断对自己提要求，从而不断产生可供选择的行动方案，生成十分庞大的博弈树，我们通常把这一过程叫作“极大极小”搜索，因为我们在选择时，总是最小化对手的获胜概率、最大化我方的获胜概率。

那么何时才是尽头呢？该程序会一直发挥作用，直到博弈树上的每一个分支都取得胜败结果为止。每一局博弈的结果只有两种：某一方胜或双方平局。在博弈树扩展深入的过程中，该程序会碰到决定胜负的一步棋。如果这步棋能使我方获胜，则选择此步走法；如果不存在决定胜负的走步，则双方打成平局；如果既不存在胜负，也无法打成平局，那我方只能继续棋局，只能寄希望于对方出现疏忽或漏洞。

这些最后的走步就是博弈树上最后的枝干——叫作“树叶”。现在，我们的程序不用再继续进行“挑选最优行动方案”的选择了，而是从博弈树的末枝返回至下棋程序。在从“挑选最优行动方案”的博弈树倒推回去的过程中，它计算评估出了每一个节点的最优走步（包括对手的最优走步），由此最终选择出当下棋局的最优走步。

那么这样一个简易程序的对弈水平如何呢？答案是“完美水准”。程序的宗旨就是“我不能输，除非我的对手先行并且对弈水准也无懈可击”。而完美型国际象棋对弈表现确实相当出色，赢人类对手不在话下。“挑选最优行动方案”函数中最复杂也是唯一不简单的地方就是在每个节点生成所有可行的走步，而这只是整理编辑规则的事。从本质上来说，我们已经通过问题的详细定义确定了该问题的答案。

但我们的工作还未完成。我们的程序能够完美地进行对弈，已经十分出色，但这还不够。我们还需要考虑“挑选最优行动方案”玩家的反应敏捷度如何。假设平均一张棋盘有8种可行的走步，一局对弈中大约走30步，所以要将博弈树完全深入扩展的话，我们需要考虑830种可能的行棋序列。假设我们每秒能解析10亿张棋盘（这已经大大超过当下任何一台下棋计算机的速度了），那么每走一步就需要10^{18}秒，也就是约400亿年。

遗憾的是，我们的对弈可没那么长时间。这种递归的方法和进化有些相似——二者的工作都非常出色，但速度慢得出奇，但仔细想想这也是情有可原。进化代表了另一种简单的模式，也是另一种简易公式。

不过，抛弃递归公式之前，让我们把人类有限的耐心和生命作为考虑因素，重新修改一下递归公式。

显然，我们需要限制递归的深入程度。生成博弈树的扩展深度受限于可用的计算空间，这样一来，小至腕表计算机、大至超级计算机，我们可以在任何一台计算机上使用递归公式。

我们限制了博弈树的大小，这就意味着我们不能利用完整的博弈树。所以我们需要及时停止博弈树的扩展，并用一种方法评估这棵不完整的博弈树上各个“最后一片叶子”。在考虑一棵完整博弈树上所有的行棋序列时，走步的评估非常简单：能赢就不要平局，不要输。但是在对弈进行时，计算评估棋盘棋子的位置就比较复杂了。不过，对于博弈树的“剪枝”方法争议也很大，我们会碰到不同的思想学派。

在《爱丽丝漫游仙境》（Alice’s Adventures in Wonderland）中，告诉爱丽丝选择哪条路并不重要的柴郡猫一定是递归算法的专家。这种边对弈边评估合理走法的效果很好。举例来说，如果把棋子价值（piece value）简单相加（即后10分、车5分等等），得到的价值结果相当可观。利用棋子价值评估“最后一片叶子”的方法对极大极小递归公式进行编程，之后在一台1998年的普通个人计算机上运行此公式，那么你几乎能击败所有人类对手（除了千人左右的一部分顶级高手）。

以下是我称之为“头脑简单”派的学派。该学派认为：使用一种简单的方法评估最后一片叶子，并竭尽可用的计算能力进行博弈树的

扩展，越深入越好。另一种是“头脑复杂”派，他们认为应该使用复杂巧妙的程序来评估每一块最后一片叶子所在棋盘的“质量”。

IBM那台跨越了历史限制的“深蓝”计算机，使用的树叶评估法要比棋子价值简单相加的评估方法更为精细。然而，就在1997年那次历史性胜利的几星期之前，我同“深蓝”团队领头人莫里·坎贝尔（Murray Campbell）进行了一次交谈，坎贝尔认为“深蓝”计算机的评估方法更偏向于“头脑简单”派而不是“头脑复杂”派。

递归算法中的非数字符号型语言“伪代码”

以下是递归算法的基本模式。递归算法中可能会出现许多变量，系统设计者需要提供一些特定的关键参数和方法，细节如下：

递归算法

定义一个函数（程序），“挑选最优行动方案”。函数返回值为“成功”（已经解决了问题）或者“失败”（没有解决问题）。如果返回值是成功，函数也会同时将解决问题的选定步骤序列值一起返回。在此过程中，“挑选最优行动方案”执行具体如下操作：

挑选最优行动方案

•判断该程序是否可在此节点脱离连续递归。（本条项目符号和下两条项目符号主要说明脱离递归的操作。）首先，判断问题现在是否已经解决。因为有可能是程序自身启动了“挑选最优行动方案”程序这一步，所以我们现在可能得到了一个满意的解决方案，比如：

i）在博弈情境下（比如国际象棋），棋局获胜的最后一步（比如将军）。

ii）在解决数学定理问题的情境下，证明定理成立的最后一步。

iii）在艺术创作程序的情境下（比如用计算机作诗或者谱曲），创作出与下一个词或音符匹配的最后一步。

如果能得出令人满意的解决方案，程序的返回值则为成功。在这种情况下，“挑选最优行动方案”同时返回选定的步骤序列值。

• 如果问题未被解决，则判断某一个解决方案是否会走入死胡同，比如：

i）在博弈情境下（比如国际象棋），此走步会让我们输（比如说，被对方将军）。

ii）在解决数学定理问题的情境下，这一步违背了定理。

iii）在艺术创作程序的情境下（比如用计算机作诗或者谱曲），这一步与下一个词或音符不匹配。

如果此时这种解决方案被判定会走入死胡同，程序的回归值则为失败。

• 若递归扩展至此节点时，问题既未得到解决也没有走入死胡同，则判断是否终止递归继续扩展。这是设计中十分关键的一步，需要考虑到我们可消耗在计算机上的时间有限，比如：

i）在博弈情境下（比如国际象棋），这一步可让我方足够“领先”或“落后”。进行这一步判断时或许无法像前两种情况那般直截了当，但又是设计中非常重要的一步。所幸一些简单的方法（比如棋子价值的简单相加）仍能提供不错的结果。如果该程序判定我方已经遥遥领先，那么“挑选最优行动方案”将返回至判断棋局获胜的那一步（即返回值为成功）；如果该程序判定我

方已远远落后，那么“挑选最优行动方案”将返回至判断棋局走入死胡同的那一步（即返回值为失败）。

ii）在解决数学定理问题的情境下，这一步需要判断证明中的一连串步骤是否无法被论证。如果是这样，则此种论证无效，“挑选最优行动方案”将返回至判断违背定理的那一步（即返回值为失败）。这种情境下，不存在“类似成功”的对等值，直到该数学问题被确确实实地解决之后，我们才能返回成功。这就是数学的本质。

iii）在艺术创作程序的情境下（比如用计算机作诗或者谱曲），这一步需要判断步骤的排列顺序（如诗歌中的词，歌曲中的音符）是否无法满足下一步的需求。如果是，则此种选择无效，“挑选最优行动方案”将返回至判断无法匹配下一个词或音符的那一步（即返回值为失败）。

• 如果“挑选最优行动方案”还未返回（因为此时程序既未判定成功还是失败，也未判定在此节点是否终止该递归），那么此时我们还没有脱离递归的后续扩展。在这种情况下，我们就要列出此节点下会出现的所有可能步骤。此时就需要介入问题的详细精确说明了：

i）在博弈情境下，问题说明包括在当前棋盘下为我方生成所有可移动的走步，要实现此生成就需要对棋局对弈规则的整理和编辑。

ii）在证明数学定理情境下，问题说明包括罗列出解决方案中在该节点所有可能用到的公理和已被证明过的定理。

iii）在计算机艺术创作程序情境下，问题说明包括罗列出在该节点所有可选的词/音符/线条。

对每一种可能的下一步：

i）假设执行该步骤，进而据此创设一个执行后会出现的情景。博弈中，这意味着一张假设的棋盘；定理证明中，这意味着把此步骤（比如公理）设为论据；艺术创作程序中，这意味着添加该词/音符/线条。

ii）现在让“挑选最优行动方案”来检测这种假设情境。此时当然还是递归发挥作用的时候，因为程序在不断启动自身。

iii）如果上述启动“挑选最优行动方案”程序的返回值为成功，那么我们现在所在的“挑选最优行动方案”步骤的返回值也为成功。否则就考虑下一种可能的步骤，以此类推。

如果将所有可能的下一步都考虑过后，仍没有找到可以使“挑选最优行动方案”的回归值为成功的那一步，那么我们现在所在的“挑选最优行动方案”步骤的回归值则为失败。

挑选最优行动方案结束

如果一开始启动“挑选最优行动方案”的回归值为成功，那么它也会返回正确的步骤顺序值：

i）在博弈情境下，该顺序值中的第一项即为你下一步该走的棋。

ii）在证明数学定理情境下，该顺序值的全部内容即为证明过程。

iii）在计算机艺术创作程序情境下，该顺序值即为你的艺术创作品。

如果一开始启动“挑选最优行动方案”回归值为失败，那就需要重新回到初始规划阶段。

关键设计决策

在上述简单的模式中，递归算法的设计者需要在一开始就做下列决定：

• 递归算法的关键在于“挑选最优行动方案”，判断何时终止递归扩展。当程序已明确取得成功值或失败值时，做出该判断很容易（比如，国际象棋中的将军，或者数学中的必要解题条件或组合最优化问题。若还未出现明显的成功或失败值，那就更困难一些。在出现定义明确的结果前需要终止一些查询指令，否则程序可能会运行几十亿年（或至少会耗尽你的计算机资源）。

• 进行递归算法的另一个关键条件是对问题的直接编码。在类似国际象棋的这种游戏中，这很简单。但在其他情况下，明确的定义问题并不总是那么简单。

祝您递归搜索愉快！

人类玩家的思维比较复杂，这似乎也是作为人的局限，即便是最顶尖的国际象棋玩家也无法思考超过100步的走步，而“深蓝”计算机却可以思考几十亿步。不过人类每移动一步都是经过深思熟虑的。然而，1997年，世界上“头脑复杂”派的最佳代表加里·卡斯帕罗夫却被头脑简单的计算机打败了。

个人而言，我倾向于第三类思想学派。其实也算不上什么学派，就我所知，还没有人尝试过这个想法。这个想法其实就是将递归和神经网络模型结合起来，具体在接下来有关神经网络的内容中我会详细说明。

神经网络

20世纪60年代上半叶开始，人工智能研究员开始痴迷于感知器，这是一种模拟人类神经元的数学模型构建而成的机器。早期的感知器在印刷字母、语音识别等模式识别领域的表现还不错。似乎让感知器变得更智能的方式就仅需加入更多神经元和更多连接线。

后来，马文·明斯基和西摩·佩珀特在1969年出版的《感知器》一书当中证明了一系列定理，[注]明确说明了感知器永远也无法解决判断一幅线条画是否连接完整这样的简单问题（一幅连接完整的线条画中各部分之间都通过线条相互连接）。这本书的出版带来了戏剧般的影响，感知器领域的所有研究和工作全部停摆。[注]

20世纪70年代末和80年代，构建人类神经元的计算机模拟器的模式，即之后被称为神经网络的模式，开始越来越受欢迎。1988年，一位观察员这样写道：

> 很久以前，一对科学姐妹出生于控制论的新科学中。其中一位是自然出生的姐姐，带着从大脑研究中继承而来的特征和自然行为方式。另一位是人工合成的妹妹，从刚出生就与计算机的使用分不开。两位科学姐妹都试着制造智能机器，但使用的材料却大不相同。姐姐通过使用算术方法精炼后的神经元制造机器（称之为神经网络），妹妹则通过计算机程序制造机器。
>
> 在青春期，两个姐妹都收获了同样的成功，并且都有了来自其他知识领域的追求者，她们姐妹两人也相处融洽。但是，在60岁的时候，随着一位新国王的出现，她们的关系开始发生变化，在科学的王国里，这位君主拥有最多的资产，他就是DRAPA王，全称叫“美国国防部高级研究计划局”。妹妹变得嫉妒心越来越强，决定全力为自己争取DRAPA王的研究资金，这样一来，姐姐就要被处死了。
>
> 这项残忍的任务由人工妹妹的两位忠实追随者马文·明斯基和西摩·佩珀特来完成，就像奉命去杀死白雪公主并把她的心脏

> 带回来作为证物的猎人一样。他们的武器不是匕首，而是更强有力的钢笔，他们写了一本书——《感知器》，旨在证明神经网络永远也无法兑现建造思维模型的许诺：只有计算机程序才能做到这一点。胜利似乎已经确定属于人工合成的妹妹了。的确，在接下来的10年时间里，科学王国所有的奖励都给予了她的后代，专家系统大家庭里的所有人都大获名利。
>
> 但白雪公主并没有死，因为明斯基和佩珀特向世界展示的证据不是公主的心脏，而是猪的心脏。

上述文字的作者正是西摩·佩珀特本人。[注]对于血腥心脏的讽刺性暗示反映了人们对他和明斯基在1969年出版的图书中的关键定理含义的普遍误解。定理展示了单层模拟神经元的能力局限。从另一方面来看，如果将神经网络放置在多个层面上——上一层神经网络输出进入下一层神经网络，那么，其能力就大大增强了。此外，如果把神经网络和其他进化模式结合，我们还能更进一步。明斯基和佩珀特掏出来的心脏属于单层神经网络。

佩珀特的讽刺还折射出了他和明斯基在神经网络领域做出的巨大贡献。事实上，早在20世纪50年代，明斯基在哈佛大学开启自己职业生涯时就对这一概念有所建树。[注]

政治性问题就先说到这里。那么设计神经网络的主要问题都有哪些呢？

其中一个关键问题就是神经网络的拓扑结构，即神经元间连接的组织。一张多层次的网络可以进行更为复杂的识别，然而也更难被训练。

训练神经网络是最关键的问题。这要求有大量可供神经网络输入识别的样本模式，并且每一种模式都有相应的输出期望模式，将每种

模式输入神经网络。通常，那些与期望输出模式相同的连接被加强[通过增加关联权重（associated weight）的方式]，那些与输出期望模式存在误差的连接则被减弱。这种增减关联权重方法叫作“反向传播”（back-propagation,BP），是应用十分广泛的一种方法。在人脑神经网络如何完成这种学习的问题上仍存有争议，因为人脑中似乎没有任何反向传播可依赖进行的机制。能在人脑中进行的唯一方法就是通过触发神经元，使得与神经元相连的突触强度加强，进而再由突触向其他神经元发送信息。此外，最近神经学家发现灵长类动物的一生当中会长出新的脑细胞（人类可能也是这样），在成年时期也是如此，这与早期认为人脑不可能长出新细胞的教条式观点大为不同。

大山丘和小山丘

自适应算法——神经网络和进化算法的一个关键问题通常指向本地最优化原则与全球最优化原则的对决，也就是爬上最近的山丘与找到并爬上最大山丘之间的对决。神经网络学习时（通过修正连接强度的方式）或进化算法演化时（通过修正模拟有机体“遗传”密码的方式），解决方法的适应度将会改善，直到找到“本地最优”解决方案为止。如果将此比作爬山，那么这些方法可以轻而易举地找到附近山丘的山顶，这也是本地所有可能的解决方案当中的最佳方案。但有时这些方法可能会困在这些小山丘的山顶，未能看见不同区域里更高的山丘。在神经网络环境下，如果神经网络已经汇聚成为本地最优解决方案，那么当它试着再去修正其中的任何一个连接的强度时，其整体的适应度将会变差。但是，正如登山者需要下山才能再次攀登更高的山峰，神经网络（或进化算法）也需要暂时把解决方案变糟，这样最终才能找到更好的方案。

有一种可以避免这类“假象”最优解决方案（小山丘）的方法，就是迫使自适应方法在开始时用不同的初始条件多做几次分析——换

言之，强迫它爬上各种不同的山丘，而不是只爬其中一座。但即使是用这种方法，系统设计者仍然需要确保自适应方法没有错过更远处更高的山丘。

国际象棋实验室

通过再次观察人类和机器进行国际象棋对弈的方法，我们可以更深入地对比人类思维和传统计算机方法，从中获得新发现。这么做并不是想对国际象棋对弈的问题进行喋喋不休的阐述，而是因为对弈问题可以清楚地说明一组矛盾对比。卡内基－梅隆大学的人工智能专家拉杰·雷迪认为，国际象棋对弈研究在人工智能领域的地位就如同大肠杆菌研究在生物学领域的地位一般，它们都是各自领域中研究最基本问题的理想实验室。[注]计算机利用自己极快的速度分析由博弈树上生成的数量庞大的组合。虽然国际象棋程序可能会耍些小把戏（比如将所有国际象棋大师间的对弈开局储存好并提前计算出对弈结果），但本质上这些程序依赖的还是速度和精确性的组合。对比来看，即使是大师级的人类棋手，在速度上也极其缓慢，而且不精确。因此，我们要提前计算所有的棋局走步，这也是为什么大师的练就总需要长时间的修炼，其他领域也是如此。加里·卡斯帕罗夫把有限生命中的几十年都用来研究、体验国际象棋的下法。研究人员估计，一个非平凡领域的大师至少已经记住了5万个洞察理解“条块”。

当卡斯帕罗夫下棋的时候，如果他脑海中也会生成博弈树，那么人脑的运算速度和短期记忆的局限性将大大阻碍博弈树的扩展（每一步真正的移动），进而将步骤限制在几百步之内。而他的电子对手却可以储存几十亿种。因此，人类象棋大师不得不一个劲儿地运用精密的模式识别功能剪去无用的枝干，修剪脑海中的博弈树。他将棋盘上每一个棋子的位置——实际上的和想象中的，与几十万种经精确分析后的数据库匹配起来。

卡斯帕罗夫1997年战败之后，我们了解到“深蓝”计算机如何进行大规模数字运算的知识，而不是真如人类一样“思考”如何下棋。你可以说事情的对立面往往能说明问题，“深蓝”计算机的确可以通过博弈树的模式进行思考，而卡斯帕罗夫对弈时没有时间这么做。他主要是从事先考虑好的棋盘数据库中提取出最适应当下的走步。（当然，这要取决于每个人对思考的概念，这一点我在第三章当中已经探讨过了。）但如果人类下国际象棋的方法（基于神经网络的模式识别，并从各种事先分析完毕的情况数据库中提取当下可用的信息）可被当作一种切实的思考，那为什么计算机程序或者机器做同样的事情时就不思考了呢？

第三种方法

这就是我之前提到过的，在递归搜索中评估最后一片叶子的第三种思想学派。想想头脑简单派使用的方法，比如通过棋子价值的简单相加来评估某一个棋子位置。头脑复杂派则提倡更复杂耗时的逻辑分析法。我更支持第三种方法：将两种简单的模式结合起来——递归和神经网络，通过神经网络评估每一片最终树叶所处的位置。训练神经网络非常耗时，它要求大量的计算，但与“头脑简单”派的评估相比，在神经网络中完成一个已学习过的识别任务非常快速。虽然速度快，但神经网络利用了大量时间学习相关知识。因为在21世纪，我们将在网络上进行每一场大师级的对弈，所以可以利用由此生成的庞大数据库来训练神经网络，我们曾有过一次类似的训练，但是在线下完成的（也就是说，并不是在真正的游戏里）。经过训练的神经网络将会被用来评估每一片最终树叶的位置。这样一种系统不仅拥有计算机在速度方面几百万倍的优势，还能将此与人类的模式识别能力相结合，如此一来，人类需要竭尽一生钻研的模式，该系统几分钟便能掌握。

我将这一方法推荐给“深蓝”团队领头人默里·坎贝尔，他认为这种方法非常有趣，也很有吸引力。他承认自己也有些倦怠了，不想再亲自动手来修正树叶评估算法。我们商量着成立一支咨询团队来执行这一想法，但随后IBM取消了整个国际象棋项目。我认为评估人类智能多样性的关键元素之一，就是要以最佳方式把基本的模式结合起来。接下来，我将探讨如何进入进化算法的模式。

神经网络算法的非数学“伪代码”

以下是神经网络的基本模式。神经网络中可能会出现许多变量，系统设计者需要提供一些特定的关键参数和方法，细节如下：

神经网络算法

为一个问题创建神经网络解决方案包含以下几个步骤：

• 定义输入值

• 定义神经网络的拓扑结构（即神经元的层数以及神经元间的连接）

• 用样本问题训练神经网络

• 运行完成训练的神经网络，以解决新的问题案例

• 向公众开放你的神经网络

这些步骤（除了最后一步）的详解见下：

问题输入

神经网络的问题输入由一系列数字组成。输入值可以是：

• 在视觉模式识别系统中，一个二维数字阵列代表一幅图画的像素

• 在听觉（比如语音）识别系统中，一个二维数字阵列代表一种声音，其中第一维度代表声音参数（如频率），第二维度代表不同时间点

• 在任意模式识别系统中：一个N维数字阵列代表输入模式

定义拓扑结构

设置神经网络：

每个神经元的结构包括：

• 多个输入，其中每个输入都与另一个神经元的输出或与初始输入值中的某一个值“连接”

• 唯一的输出，这个输出与另一神经元（通常，此神经元在更高一层的神经网络中）的输入或与最终输出“连接”

设置第一层神经元：

• 在第一层创建N0个神经元。在问题输入时，每个神经元单独设置，将每一个神经元的多个输入与“节点”（即数值）连接。这些连接的建立可随机进行或根据进化算法进行（详见下文）

• 给每个建立的连接赋予一个初始“突触强度”（即权值）。这些初始权值可以相同，也可随机赋值，或者根据另一种方法赋值（详见下文）

设置神经元的其他层面：

设置神经元总层数为M。每一层单独设置该层的神经元针对第i层：

• 在第i层中创建Ni个神经元。该层的每个神经元单独设置，将每个神经元的多个输入与第（i－1）层上的各个神经元输出“连接”（详见下文“变量”）

• 给每个建立的连接赋予一个初始“突触强度”（即权值）。这些初始权值可以相同，也可随机赋值，或者根据另一种方法赋值（详见下文）

• 第M层的各个神经元输出则为该神经网络的输出（详见下文“变量”）

识别测试

每个神经元是如何工作的：

一旦创建了神经元，它就要进行识别测试，每一次测试都要执行如下内容：

• 每一个输入神经元的加权值=与神经元的该条输入另一端相连的神经元输出值（或初始输入值）×该连接的突触强度

• 将输入至神经元的所有加权值求和

• 如果求和结果大于神经元的阈值，那么该神经元就被当作“已触发”且输出为1;否则，输出是0（详见下文“变量”）

每一次识别测试执行的力度：

从第0层到第M层中的每一层;

对每一层上的每一个神经元：

• 将输入加权值相加[每个改正输入权值=与该神经元的该条输入另一端相连的神经元的输出值（或初始输入值）×该连接的突触强度]

• 如果输入加权值之和大于该神经元的阈值，设置神经元的输出为1，否则设置为0

训练神经网络

• 在样本问题上重复运行识别测试

• 在每次实验过后，修正所有神经元之间连接的突触强度，以便改善本次测试后神经网络的性能（见下文关于如何做到这一点的探讨）

• 继续训练，直到神经网络的精确率不再提高（即，到达渐近线）

关键设计决策

在上述简单的模式中，递归算法的设计者需要在一开始就做下列决定：

• 输入数字代表什么

• 神经元层数的数量

• 每一层神经元的数量（每一层神经元的数量没必要完全一致）

• 每层中每个神经元的输入数量，各个神经元的、各个网络层的输入的数量（即神经元间的连接）可互不相同

• 真正的“线路”（即连接）。对于每一个神经元、每一层来说，这包括一系列神经元、形成该神经元输入的其他神经元的输出，这代表着设计的关键。设置方法有许多：

i）随意连接神经网络

ii）使用进化算法（见附录中的下一部分）决定最佳连接

iii）使用系统设计者的最佳判断来决定连接法

• 每个连接的初始突触强度（即权值）。设置方法有许多：

i）将突触强度的值设置一致

ii）将突触强度随意设置为不同值

iii）使用进化算法来决定最佳初始值

iv）使用系统设计者的最佳判断来决定初始值

•每个神经元的阈值

•输出的决定。输出可以是：

i）第M层上神经元的输出

ii）单个输出神经元的输出，这些神经元的输入是第M层上神经元的输出

iii）第M层上神经元输出的函数（即总和）

iv）多个层次当中神经元输出的函数

•决定训练神经网络过程中所有连接的突触强度如何修正。这是一个关键的设计决策，也是大量神经网络研究和讨论的主题。设置方法有许多：

i）针对每一次识别实验，通过（通常是较小的）固定的数量增加或减少每一个突触的强度，从而使神经网络的输出更接近正确值。其中一种方案是试着同时增加和减少突触的强度，从而比较哪种方法的影响较好。也许这样做比较耗时，所以还有其他针对是否要增加或减少每个突触强度的方法来做本地决定

ii）还有其他统计方法可以在每次识别测试后改善突触强度，这样实验中的神经网络可以更接近正确答案

要注意，即便训练测试的答案并不完全正确，神经网络训练也会起作用。这样就可以使用有固有误差率的真实数据进行训练。基于神经网络识别系统取得成功的关键因素之一，就是训练使用的数据量大小。通常，要得到令人满意的结果，就需要大量的数据。就好比人类学生，神经网络在学习课程上所消耗的大量时间是其性能的关键

变量

上述很多变量都是可操作的，这些变量包括：

• 如上文所述，有很多不同方式构建拓扑结构，尤其是神经元之间的连接可以随机设定或是用进化算法来设定

• 如上文所述，有许多不同方式来设定初始突触强度

• 第i层上的神经元输入没必要全部来自第（i－1）层，每层神经元的输入可以来自底层或任意层

• 如前文所述，决定最终输出值的方法不止一种

• 对每个神经元而言，上述方法把加权值之和比作神经元的阈值。如果加权值达到了阈值，神经元受到刺激且输出值为1;否则，输出值为0。这种“拥有一切或一无所有”的刺激法叫作非线性。有很多可用的非线性方程。通常被使用的方程会以迅速但逐渐变化（而不是拥有一切或一无所有）的方式从0过渡到1。此外，输出的结果可以不是0和1

• 如上文所述，训练过程中修正突触强度的不同方法代表了设计的关键性决策

• 上述模式描述了一种“同步”神经网络，其中，通过计算每一层次的输出来进行识别测试，从第0层开始，到第M层为止。在真实的并行系统里，每个神经元都是独立运转的，所有神经元都是非同步运转的（即独立运转）。在非同步方法当中，每个神经元都不间断地扫描自己的输入值和阈值（即将自己的输出从0改到1），无论改正输入权值之和何时超过阈值都是如此（或者，使用另一个非线性输出函数）。

祝您修改愉快！

进化算法

> 如果生物学家已经忽略了自我组织，不是因为自我排序普及性低或者影响不够深刻，而是因为我们这些生物学家还没有弄明白，应该如何去考量由两种有序的资源同时管理的系统。人们有的看见雪花，有的看见简单脂质分子漂浮在水面上形成类似细胞的空心脂质囊，有的看见分子反应群中结晶的现象，有的看见网络那令人诧异的秩序将数十万种变量联系起来，但这些现象都无法说明一种核心思想：如果我们终将得出生物学最终的理论，就必须理解将自我组织和选择结合在一起的意义。我们一定可以看见更深层秩序的自然表达。最终，我们将从创造的谜题中发现，我们本身也是被期待的。
>
> ——斯图尔特·考夫曼

正如我之前阐述的，进化算法包括一个模拟环境，模拟软件“生物”在这个环境中为了生存而竞争，只有赢得竞争的才能繁殖下来。每个软件生物都代表了其DNA密码中问题的潜在解决方案。

那些得以存活并繁殖下一代的生物就是在解决问题时表现更好的生物。进化算法被认为是“自然出现”方法中的一部分，因为方法是慢慢出现的，通常，系统的设计者也无法预知它们的出现。当与其他模式结合在一起时，进化算法的作用尤为明显。以下就是将所有“智能”模式结合在一起的一种独特方法。

将三种模式结合在一起

人类基因组包括30亿个碱基对，相当于60亿比特的数据。将数据稍作压缩之后，你的遗传密码可存储在CD－ROM中。这样就可以把全家都装进一张DVD光盘里。但你的大脑有100万亿条“接线”，这就需要

有3 000万亿个比特来呈现出来。但是染色体中只有120亿比特的数据（根据现代预估，只有大约3%是活跃的），应如何设计大脑的连接方式呢？它们大约构成了2 500 000倍的信息量。

显然，遗传密码并没有详细指明具体的连接方式。之前我曾说过，我们可以随意连接神经网络来获得令人满意的结果。的确如此，但同时也有更好的方法能做到这一点，那就是进化。我的意思不是使用经过了几十亿年然后产生了人类大脑的进化，而是指在妊娠时期以及儿童早期阶段进化的那几个月。在我们的早期生命力，神经元间的连接都在为了生存下来而战斗，那些能更好地感知世界的连接幸存下来。到儿童时期快结束时，这些连接变得相对固定了，因此，向婴儿和低年龄段的儿童展示虚拟环境是非常重要的。否则，这些进化过程就会耗尽真实世界的混沌，而它们正是从其中汲取灵感的。

对于人造神经网络也可以采取同样的做法：运用进化算法决定最佳连接方式。京都高级通信研究实验室雄心勃勃的大脑构建项目就是这么做的。

接下来要讨论的就是应该如何使用三个模式智能地解决具有挑战性的难题。首先，仔细陈述你的问题。其实这是最难的一步。大部分人都试图在不用理解问题是什么的前提下解决问题。第二，通过搜索元素之间的各种组合（比如，对弈中的走步，解决方案中的步骤）的方法，递归性地分析问题的逻辑概要，这样你和你的计算机都有足够的耐心来理清问题的概要。对于潜在方案递归性扩张的最后树叶，应用神经网络对它们进行评估，使用进化算法来决定神经网络的最佳拓扑结构。如果这些都不起作用，那你确实遇上了一个棘手的问题。

进化算法的“伪代码”

以下是进化算法的基本模式。进化算法中可能会出现许多变量，系统设计者需要提供一些特定的关键参数和方法，细节如下：

进化算法

创立N个解决方案“生物”。每个生物都有：

• 遗传密码——一系列具有问题潜在解决方案特性的数字。数字可以代表关键参数、解决问题的步骤、规则等等

对于进化的每一代，应该做到以下几步：

• 对于N个解决方案生物，每个都应做到以下几步：

i）将该解决方案生物的方案（其遗传密码所代表的）运用到问题或模拟环境当中

ii）给解决方案评级

• 挑选出等级最高的L个解决方案生物，让它在下一代中存活下来

• 淘汰（N－L）个没有存活下来的解决方案生物

• 通过以下方式从L个存活解决方案生物创建（N－L）个解决方案生物：

i）复制L个存活生物。在每种复制版本中随机引进小的变量

ii）通过将遗传密码各部分结合起来的方式在L个存活生物中，创建额外的解决方案生物（使用“性”繁殖的方法，或者将染色体各部分结合起来的方法）

iii）将上述两个步骤结合起来

• 决定是否继续进化：

改善=这一代中评定等级最高的－上一代中评定等级最高的如果改善<改进限度，则任务完成

• 进化的上一代中，评定等级最高的解决方案生物拥有最佳解决方案。将遗传密码定义的方案运用到问题当中

关键设计决定

在上述简单的模式当中，这种进化算法的设计者需要在一开始就决定：

• 关键参数：

NL

改善起始线

• 遗传密码中的数字代表了遗传密码中如何计算解决方案

• 在第一代中，有一种决定N个解决方案生物的方法。通常，这些生物只需“合理地”适应一种解决方案。如果这些第一代解决方案离得太远，那么进化算法可能没法汇聚出一个好的解决方案。通常可以用这样的方式创立最初的解决方案生物，让它们可以合理地呈现多样化。这将有助于阻止进化过程找到一个“本地”最佳解决方案

• 如何给解决方案评定等级

• 幸存下来的解决方案生物如何繁殖

变量

上述很多变量都是可操作的，这些变量包括：

• 每一代幸存的解决方案生物不必是固定的数字（比如“L”）。幸存规则可以允许有不同数量的幸存者

•在创造的每一代新解决方案生物中，不必有一个固定的数字[比如（N－L）]。繁殖可以独立于人口规模，也可以同存活率相关，这样就可让最适合的解决方案生物进行最大量繁殖

•是否继续进化的决定可以变化。可以考虑不仅仅是最近一代（几代）当中评定等级最高的解决方案生物，还可以考虑超过前两代的生物

祝您进化愉快！

1. Marvin Minsky and Seymour A. Papert,Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry （Cambridge, MA: MITPress, 1988）.
2. 有关“科学姐妹”的文字引用出自Seymour Papert,“One AI or Many”,Daedalus, Winter 1988。
3. “西摩·佩珀特博士是名数学家，也是人工智能研究的先驱。此外，他也是研究计算机改变学习方法的重要人物。佩珀特博士出生并成长在南非，上学期间还积极参与反种族歧视运动；1954~1958年间在英国剑桥大学主攻数学研究；1958~1963年在日内瓦大学与Jean Piaget共事，正是这段合作经历激发了佩珀特博士的灵感，他想到可以利用数学方法研究儿童的学习和思维模式。20世纪60年代初，佩珀特博士来到麻省理工学院与明斯基一起建立了人工智能实验室，并合著了《感知器》一书。”
4. “马文·明斯基是……智能型机械机器人技术和远程定位技术的研究先驱……1951年，他利用加强的模拟突触传导率建立了第一台随机连接的神经网络学习机（Stochastic Neural-Analog Reinforcement Computer,SNARC）……自20世纪50年代初以来，明斯基一直致力于利用计算构型描绘出人类心理过程的特征，还一直尝试赋予机器智能。”摘自马文·明斯基的学术传记。
5. 拉杰·雷迪博士为卡内基－梅隆大学计算机科学学院院长及赫伯特·A·西蒙大学计算机科学和机器人科学教授，是人工智能研究的领头人，其研究主要涉及人类——电脑互动和人工智能的研究。



致谢

在这里，谨向给予我灵感、耐心、想法、批评、洞察力及为本书出版提供各种帮助的人表达诚挚的谢意，尤其要感谢以下诸位：

- 感谢我的妻子索尼娅，感谢你在我艰难曲折的创作过程中对我的包容与理解。

- 感谢我的母亲，感谢您在我孩提时代常常陪我在皇后区的小森林里散步（没错，纽约皇后区在我小时候是有森林的），感谢您那些年一直支持我，对我那些不太成熟的想法总是表现出热情和兴趣。

- 感谢维京出版社的编辑芭芭拉·格罗斯曼及道恩·德雷泽尔，感谢二位的悉心指导及专业的编辑技术。感谢企鹅出版集团的团队成员：出版商苏珊·彼得森、销售主管伊万·赫尔德及保罗·斯洛瓦克、文字编辑约翰·贾思诺、设计师贝蒂·卢、编辑助理加里亚·瓦纳普以及负责编辑索引的劳拉·奥加尔。

- 感谢极有耐心的摄影师杰里·鲍尔。

- 感谢我的文稿代理人洛蕾塔·巴雷特助我完成本书的写作任务。

- 感谢卖力工作的研究人员温蒂·丹尼斯和南希·马尔福德，感谢二位不遗余力地工作并为我提供了众多资源，同时感谢汤姆·加菲尔德的鼎力相助。

- 感谢罗斯·拉索和罗伯特·布龙将想象中的插图幻化成美丽的实物图片。

• 感谢亚伦 • 克莱纳的鼓励与支持。

• 感谢乔治 • 吉尔德那些启迪人心的想法和敏锐的洞察力。

• 感谢哈里 • 乔治、唐 • 贡松、拉里 • 亚诺维奇、汉娜 • 库兹韦尔、罗布 • 普莱斯曼、米奇 • 辛格参与讨论这些话题并提供宝贵意见。

• 感谢我的读者：彼得 • 阿诺德、梅拉妮 • 贝克－福特瑞安、洛蕾塔 • 巴雷特、斯蒂芬 • 鲍姆、布莱恩 • 伯杰龙、迈克 • 布朗、谢里尔 • 科迪玛、阿维 • 科伦、温蒂 • 丹尼斯、马克 • 迪翁、道恩 • 德雷泽尔、尼古拉斯 • 法比亚尼奇、吉尔 • 菲施曼、奥奇 • 弗兰克尔、维姬 • 弗兰克尔、鲍勃 • 弗兰克斯顿、弗朗西斯 • 加农、汤姆 • 加菲尔德、哈里 • 乔治、奥德拉 • 热拉尔、乔治 • 吉尔德、唐 • 贡松、马丁 • 格林伯格、芭芭拉 • 格罗斯曼、拉里 • 亚诺维奇、亚伦 • 克莱纳、杰里 • 克莱纳、艾伦 • 库兹韦尔、艾米 • 库兹韦尔、阿里耶勒 • 库兹韦尔、伊迪丝 • 库兹韦尔、伊桑 • 库兹韦尔、汉娜 • 库兹韦尔、莱尼 • 库兹韦尔、米西 • 库兹韦尔、南希 • 库兹韦尔、彼得 • 库兹韦尔、蕾切尔 • 库兹韦尔、索尼娅 • 库兹韦尔、乔 • 莱尔努、乔恩 • 立夫、艾略特 • 洛贝尔、居鲁士 • 梅赫塔、南希 • 马尔福德、尼古拉斯 • 马伦多尔、罗布 • 普莱斯曼、弗拉德 • 谢伊诺哈、米奇 • 辛格、迈克 • 索科尔、金 • 斯托里及芭芭拉 • 泰瑞尔蒂雷尔。感谢各位不吝赞扬与批评（后者对我大有裨益）之词，谢谢你们提出的其他宝贵建议。

• 最后，感谢所有致力于创造智能机器时代的科学家、工程师、企业家及艺术家。



词汇表

Aaron 亚伦 哈罗德·柯恩设计的电脑机器人（及相关软件），能够进行绘画创作。

Alexander ’s solution 亚历山大的解决方法 指亚历山大大帝用剑劈开戈尔迪之结（按照神谕，能解开此死结者即可为亚细亚国王），意指用一种果断而又出乎意料的间接手段解决一个难以破解的问题。

Algorithm 算法 一系列描述问题解决过程的规则和指令，一个计算机程序代表一种或多种可被计算机识别的算法。

Alu Alu 由300个核苷酸字母组成、在人类基因中出现了30万次的一种无意义序列。

Analog 模拟 一个变量，不同于其他变量的不连续变化，模拟的改变呈持续型。自然界中大多数现象均为模拟。衡量这些现象并对其赋值的过程称为数字化。人脑计算用了数字化和模拟两种方式。

Analytical Engine 分析机 英国的查尔斯·巴贝奇和阿达·洛夫莱斯于19世纪40年代共同创造的第一台可编程计算机。该分析机有一个随机存取存储器（由1 000个词汇组成，每个词汇又由50个十进制数字构成）、一个中央处理器、一个软件专用存储器和一台打印机。这台机器为现代计算机的诞生奠定了基础，然而巴贝奇的发明在当时未能实际成型。

Angel Capital 天使基金 指有财力的投资者们为创业公司投资的基金，该基金已成为美国高科技型创业公司的主要资金来源。

Artificial intelligence（AI） 人工智能 试图在机器上模拟人类智能的研究领域。人工智能领域包括知识型系统、专家系统、模式识别、自动学习、自然语言理解、机器人技术等。

Artificial life 人造生命体 即模拟有机体，每个有机体都包含一系列活动行为和复制的规则（即一组模拟“基因密码”）和一个模拟环境。模拟有机体能模拟出生命体的多代演化。该术语可指任何自我复制模式。

ASR 见“Automatic speech recognition（ASR）自动语音识别”。

Automatic Speech Recognition（ASR） 自动语音识别 能识别人类语言的软件。简单来说，该系统能从语音数据中提取高级别的模式。

BGM 见“Brain-generated music（BGM）大脑生成音乐”。

Big Bang theory 宇宙大爆炸理论 有关宇宙起源的重要理论：宇宙始于一个密度无限大的奇点，几十亿年前该奇点发生的宇宙大爆炸标志着宇宙的开端。

Big crunch 宇宙大收缩理论 该理论认为宇宙膨胀终将结束，并会向大爆炸的反方向收缩并崩塌。

Bioengineering 生物工程 通过直接修改基因密码研制药物和培育动植物品种的领域，生物工程研发的材料、药物和生命体被广泛用于农业、医药和疾病治疗等领域。

Biology 生物学 研究生命形式的学科。进化研究领域中，生物学指物质和能量存活并复制形成后代的模式。

Bionic organ 仿生器官 2029年时利用纳米工程技术制造的人造器官。

Biowarfare Agency（BWA） 生物战争机构 21世纪20年代出现的一个政府专门机构，负责监控和管制生物工程科技制造的武器。

Bit 比特 “binary digit”（二进制数）的缩写。在二进制密码中，指0或者1;在信息理论中，指信息的最小单位。

Brain-generated music（BGM） 大脑生成音乐 NeuroSonics公司开发的一种音乐创作科技，可根据听者的脑波创作音乐。这种生物脑波反馈系统可刺激大脑生成阿尔法波，进而引发松弛反应。

BRUTUS.1 BRUTUS.1 美国伦斯勒理工学院的塞尔默·布瑞斯乔德、戴夫·费鲁奇和一个软件工程师小组共同开发的计算机程序，该程序能以背叛为主题进行奇幻小说创作。

Buckyball 巴基球，即富勒烯 由大量碳原子以足球形状结合的分子结构。该结构由五边形和六边形组成，受美国建筑师R·巴克明斯特·富勒（R. Buckminster Fuller）建筑结构的启发，故将其命名为“富勒烯”。

Busy beaver 忙碌的海狸 典型的不可运算函数，数学中的不可解问题。忙碌的海狸函数是个“图灵机器不可解问题”，也就是它无法通过图灵机器进行运算。若要进行忙碌的海狸函数的运算，假定一个输入值n，从而可制作一台只能输出0和1两种字符、有n个操作状态外加一个停机状态的图灵机器。找来一台这样的机器后，给它一条空白带（所有空格填满0），运行一段程序后它停机了，此时在纸带上留下的1最多的那台图灵机器则被称为“忙碌的海狸”。

BWA 见“Biowarfare Agency生物战争机构”。

Byte 字节 “by eight”（8个为一单位）的缩写。每8个比特组成一个字节，作为最小单位的信息存储在计算机上。例如，一字节可以表示英文的一个字母。

CD-ROM 见“Compact disc read－only memory只读光盘”。

Chaos 混沌 一个体系中无序的或不可预知的行为的数量。在时间与混沌定律中，混沌指某个过程中随机事件和不可预测事件的总数。

Chaos theory 混沌理论 对涉及许多不可预测因素的复杂体系中（如天气）存在的模式和紧急行为的研究。

Chemistry 化学 研究由分子构成的物质的组成和性质的学科。

Chip 芯片 置于半导体薄片（通常为单晶硅圆片）上、共同完成一个或一系列任务的一组相关电路。

Closed system 封闭系统 不受外界干扰（如宇宙）、内部互相影响的实体和力。根据热力学第二定律，在一个封闭系统中，熵增加。

Cochlear implant 耳蜗移植器 一种能分析声波频率的植入器，功能与人的内耳相似。

Colossus 巨人计算机 “二战”期间英国用1 500个无线电真空管制成的第一台电子计算机。在“二战”军事智能比拼中，“巨人”连同其他9台相似的机器并行运行，破解了德军逐渐复杂的密码，为盟军方的胜利做出了贡献。

Combinatorial explosion 组合式激增 随着一个集合中元素数量的增加，从该集合中挑选不同元素进行组合的方式呈指数级速度激

增。在算法中，组合式激增指在搜索一个问题的解决方案过程中，可选方案数量的激增。

Common sense 常识 具体情境下能够综合运用数百万块常规知识碎片进行情况分析的能力。目前来说，计算机缺乏常识。引用马文·明斯基的话，即“‘深蓝’计算机或许能赢得比赛，但它可绝不知道下雨了要避雨”。

Compact disc read-only memory（CD–ROM） 只读光盘 一种激光读取的光盘，能存储近5亿字节的信息。“只读”指的是光盘上的信息只可被读取，无法被删改。

Complicated-minded school “复杂心智”派 利用复杂过程评估递归算法“顶端之叶”的做法。

Computation 计算 利用算法（如计算机程序）和相关数据计算出结果的过程；记忆并解决问题的能力。

Computer 计算机 能执行算法的机器。计算机会根据算法中的具体要求转换数据。可编程计算机甚至可以修改算法。

Computer language 计算机语言 在计算机上描述一种算法或一个过程的一系列规则和说明。

Computing medium 计算媒介 可执行一种或多种算法的计算回路。典型的例子有人脑和硅芯片。

Connectionism 连接机制 智能研究和智能解决问题的一种方式。连接机制将问题解决的知识存储为连接模式，将大量并行运行的简单处理单元互相连接。

Consciousness 意识 一种主观体验的能力。人类、动物或实体拥有自我感知和自我意识的能力。拥有感觉的能力。21世纪时，有个关键的问题即计算机能否获得意识（它们的人类创造者是有意识的）。

Continuous speech recognition（CSR） 连续语音识别系统 能识别并记录自然语言的软件程序。

Crystalline computing 晶体计算 美国斯坦福大学教授兰伯特斯·海塞林克（Lambertus Hesselink）提出的一种将数据作为全息图存储在晶体中的系统。这种三维存储方式每1比特需要100个原子，三维图像每1立方厘米可存储一万亿比特的信息。晶体计算机也指计算机如晶体结晶般发展的可能性。

CSR 见“Continuous speech recognition连续语音识别”。

Cybernetic artist 电脑艺术家 能进行诗歌、视觉艺术或音乐创作的计算机程序。电脑艺术家于2009年开始日益普及。

Cybernetic chauffeur 电脑司机 利用道路上的特殊感应器自行驾驶的汽车，这种汽车在20世纪90年代末就已开始投入试验。

Cybernetic poet 电脑诗人 能进行诗歌原创的计算机程序。

Cybernetics 控制论 美国数学家诺伯特·维纳提出用来描述“研究动物和机器控制与交流的科学”的术语。控制论的理论基础是：智能生命体对来自周边环境的反馈做出反应，进而适应其所处环境并完成目标。

Database 数据库 与数据检索系统连接建立的结构化数据集合。数据库管理系统（database management system, DBMS）可对数据库

进行监控和更新，并与各数据库互通交流。

Debugging 调试 计算机硬件和软件中错误的发现与修改过程。21世纪，随着电脑逐步与人脑人体结合，程序中漏洞或错误的调试越发重要。计算机Mark I的第一位编程员格雷斯·赫柏（Grace Murray Hopper）发现的第一个“bug”㊟竟是只真的飞蛾。

Deep Blue 深蓝 IBM开发的计算机程序，1997年击败了世界棋王加里·卡斯帕罗夫。

Destructive scan 破坏型扫描 扫描一个人的大脑和神经系统，同时将其破坏，并意图用容量更大、速度更快、可靠度更高的电子电路取而代之。

Digital 数字化 随步骤不同而改变。利用比特组合代表计算数据的方法。可与“模拟”做比较。

Digital video disc（DVD） 数字影碟 一种高密度光盘。相较于传统的只读光盘，DVD使用的激光束更集中。一张双面的DVD存储量可达9.4G。一张DVD存储一部完整的电影也绰绰有余。

Direct neural pathway 直接神经通道 即与大脑进行直接电子信息交流。2029年，直接神经通道与无线通信技术相结合可实现人类与全球计算机网络间的直接连通。

Diversity 多样化 进化过程中的多种选择。进化过程的主要资源。进化的其他资源来自进化本身有序性的提升。

DNA 脱氧核糖核酸 建造所有有机生命形式的砖块。到21世纪，智能生命形式将以新型计算机技术和纳米工程为基础建造和发展。

DNA computing DNA 计算 伦纳德·阿德曼开创的一种计算形式，它利用DNA分子解决复杂的数学问题。DNA计算机能同时进行上万亿次运算。

DVD 见“Digital video disc（DVD）数字影碟”。

Einstein ’s theory of relativity 爱因斯坦的相对论 指爱因斯坦提出的狭义相对论和广义相对论。爱因斯坦狭义相对论的假设为“光速是传输信息可达的最高速度”，广义相对论则论述了重力对空间几何的影响。公式为$E=mc^2$（一个物体的能量等于它的质量与速度的平方之积），它也是研究核能的基础。

EMI 见“Experiments in Musical Intelligence 音乐智能实验”。

Encryption 加密 信息的加密，这样一来，只有指定接收方通过解密后才能获取信息。PGP（Pretty Good Privacy,“绝密隐私”）软件就是个典型的加密软件。

Entropy 熵 热力学中用来衡量一个由许多元素组成的物理体系中粒子和不可用能量的混沌程度（即不可预测的运动方式）。其他情境下，熵用来描述一个体系中随机性和无序性的程度。

Evolution 进化 各种实体（有时也叫有机体）在一个环境中争夺有限的资源，占优势的有机体便能存活下来并继续繁衍后代，这一过程就叫进化。有机体历经了几代这番更替后，环境适应性更强，自身构造的有序性（信息与目标活动的匹配度）提升。在“进化算法中”（见下文），目标活动可以是寻找一个复杂问题的解决方案。进化也指一种理论，即地球上的生命体都起源于一种早期生命形态。

Evolutionary algorithm 进化算法 以计算机为基础、以进化机制的计算模型为主要设计元素的问题解决系统。

Experiments in Musical Intelligence （EMI） 音乐智能实验 作曲家戴维·科普设计的用于作曲的计算机程序。

Expert system 专家系统 以多种人工智能技术为基础设计的计算机程序。针对一个主题，它能利用与其相关的专业知识数据库解决问题。也指向非专业用户提供专业知识数据库的程序。人工智能领域的一个分支。

Exponential growth 指数级增长 规模呈固定倍数上升的增长模式。

Exponential trend 指数型趋势 任何体现指数级增长的趋势（如人口的指数增长趋势）。

Femtoengineering 费米工程 2099年，在费米（1费米=10^{-15}米）层面进行的计算科技。费米工程需要利用夸克内部的机制。莫莉在2099年与作者谈到了费米工程的设想提案。

Florence Manifesto Brigade “佛洛伦斯宣言帮” 2029年的一个新勒德组织，他们建立在西奥多·卡钦斯基（Theodore Kaczynski）狱中写成的《佛洛伦斯宣言》之上。该帮成员通过非暴力的形式对技术进行反抗。

Fog swarm projection 雾群投影 21世纪中后期出现的一种技术，它通过上万亿个Foglet机器人对物体和实体进行投影。莫莉在2099年与作者对话时显现的身体样貌便是由雾群投影产生的。参见“Foglet机器人；Utility fog实用雾”。

Foglet Foglet机器人 一种假想的机器人，机身是台人体细胞大小的设备，有12只手臂，伸向不同方向。每只手臂的末端装有夹具，可让机器人之间互相抓握组成更大规模的结构。这些机器人十分智能，能互相共享并结合各自的计算容量，从而形成一个网络分布式的智能体。美国罗格斯大学的计算机学家斯托尔斯·霍尔（Storrs Hall）创造了Foglet机器人。

Free will 自由意志 有目的的行为和决策。早在柏拉图的年代，哲学家们就已发现自由意志是个悖论，这一点在机器应用中更为明显。到未来，机器是否会进化成有意识、有自由意志的存在体将会是非常关键的一个问题。还有一个基本哲学问题摆在我们眼前：如果事件是粒子间可预见（或不可预见）的互相作用的产物，那么何来自由意志一说？就算粒子间的相互作用无法预测，自由意志中存在的悖论仍然无法梳理，因为随机行为中不存在目的性。

General Problem Solver （GPS） "通用问题解决家" 艾伦·纽厄尔、J·C·肖和赫伯特·西蒙共同开发的一个软件程序。GPS解决问题的方式有两种：一是通过递归式搜索；二是通过运用既定的规则，在递归发散的博弈树上每一个分支中提取出备选方案。通用问题解决家可利用软件程序衡量与目标间的“距离”。

Genetic algorithm 遗传算法 一种机器学习模式，其活动方式由自然进化机制的模型演变而来。一个程序中，该算法会创造大量模拟“个体”，随后这些“个体”会在一个模拟竞争环境中经历进化。

Genetic programming 遗传编程 利用遗传算法或进化算法进行电脑编程的方法。参见“Evolutionary algorithm进化算法；Genetic algorithm遗传算法”。

God spot "神点" 大脑额叶中神经元的一个小区域，会在参加宗教活动体验时被激发。美国加州大学圣迭哥分校的神经学家在研究

癫痫病者的发病状况时观察到一种奇怪的剧烈活动，由此发现了神点。

Godel ’s incompleteness theorem 哥德尔不完备定理 捷克数学家哥德尔提出的一项定理，该定理认为，在一个足够强大且可以产出自然数字的数学体系当中，必然存在一种既无法证明也无法反驳的命题。

Gordian knot 戈尔迪之结 复杂到几乎不可解的难题。也指戈尔迪打的死结，只有未来的亚细亚国王才能解开此结。亚历山大大帝用剑劈开了这个结，解决了这个难题。

GPS 见“General Problem Solver通用问题解决家”。

Grandfather legislation 祖父法规 在2099年用来维护MOSH（几近原始的原人）的权益、承认21世纪人类根源的法规。详见“MOSH原人”。

Haptic interface 触觉接口 虚拟现实系统中为用户提供触觉（包括压力和温度的感觉）的实体装置。

Haptics 触觉 能让用户在虚拟现实中体验触感的系统。参见“Haptic interface触觉接口”。

Hologram 全息图，全息照相 一种利用光波干涉成像的模式，其中用到的摄影媒介都用激光进行编码后，再由低能激光进行读取。它可重构出一个三维的图像。全息图最大的特点是信息分散在图像各处。如果我们将全息图遮住一半，仍会呈现完整的物象，但清晰度会减少一半。即使刮花了全息图，对投射出的物象也无明显影响。人脑记忆的方式与之类似。

Holy Grail 圣杯 漫长艰苦探索的最终目标。中世纪传统中，“杯子”指的是耶稣在最后的晚餐中用到的餐盘。后来，“圣杯”成了骑士探索寻找的目标物。

Homo erectus 直立猿人 “直立人”。直立猿人最早起源于约160万年前的非洲，能使用火、衣服、语言和武器。

Homo habilis 能人 “拥有灵活双手的人”。直立人和后来智人的直接祖先，约生活在160万~200万年前。与之前的类人动物不同，能人的大脑体积更大，习性为食草食肉型，他们开始创造并使用简易工具。

Homo sapiens**智人**约40万年前出现的人种，从基因遗传物质来看，与高度进化的灵长类动物十分相似，并且已创造出了艺术和语言等高级技术。

Homo sapiens neanderthal（neanderthalensis） 尼安德特智人 智人的一个亚种，约10万年前在欧洲和中东由智人演化而来。这种高度智能的亚种发展了一种复杂的文化，包括详尽的殡葬仪式、下葬时有陪葬首饰、照顾病人和家用工具、防护工具等等。尼安德特智人在35 000~40 000年前消失，有可能是因为与现代智人（现代人类的亚种）发生战争而落败。

Homo sapiens sapiens 现代智人 智人的另一亚种，约出现于90 000年前的非洲。现代人类是这类亚种的直接后代。

Human Genome Project 人类基因组计划 一项全球研究项目，旨在收集人类基因图和DNA序列信息，进而获得有关人类和其他动物DNA的结构、组成和特性的详细信息。该项目始于20世纪80年代中期，已于2005年完成。

Idiot savant “天才白痴” 某一狭窄领域拥有高级智能的系统或人，但缺乏更广情境下的整体智能。此术语来源于精神病学，指一个人在某一个特定领域内表现非常出色，却在常识、知识和竞争力方面十分欠缺。比如人类中有些天才白痴，他们能在大脑中进行多位数的乘法或能记下一整本电话号码簿。机器“深蓝”则是个典型的天才白痴系统。

Image processing 图像处理 代表图像的数据或屏幕上由像素组成的图像的处理。利用计算机程序加强或修正图像的手段。

Improvisor Improvisor 音乐软件 英国爵士萨克斯演奏家保罗·霍奇森编写的一种能创作音乐的计算机程序。从巴赫的古典乐到爵士乐大家路易斯·阿姆斯特朗和查理·帕克的作品，这款软件都可对其进行模仿创作。

Industrial Revolution 工业革命 历史上18世纪末至19世纪这段时期，技术的飞速发展实现了产品和生活资料的大批量生产。

Information 信息 某一进程中一串有意义的数据，如有机体中的DNA密码，计算机中的比特。信息与“噪声”相对，噪声是个随机序列。信息和噪声都不可预测，噪声本身就不可预测，不携带任何信息；信息也不可预测，也就是说，我们无法从过去的信息中推测未来的信息。假如未来的数据可由过去的数据完全预测得出，那未来数据就称不上信息了。

Information Theory 信息理论 阐述信息与噪声的区别、通信渠道承载信息能力的数学理论。

Intelligence 智能 最优化利用时间等有限资源以实现一系列目标（包括生存、交流、问题解决、模式识别、技能施展等）的能力。智能产物可以是聪慧、独特、见解独到或优雅高贵的。R·W·杨将智能

定义为“一种能使本来无序的情境以有序的方式被感知的心理能力”。

Intelligent agent 智能代理 一种能自行实施一项功能的自动软件程序，如按照特定的标准在网上搜索某人感兴趣的信息。

Intelligent function 智能函数 一种函数，随着参数的增多，计算中需要的智能随之增多。“忙碌的海狸”函数就是个典型的智能函数。

Internet computation harvesting proposal 互联网计算收集提案 一个提出在互联网上收集个人电脑中计算资源未使用部分的提案，从而利用这部分资源制造虚拟的并行超级计算机。1998年，互联网上有大量未被使用的计算资源，足以用来制造人脑容量大小的超级计算机，至少其硬件容量可以达到人脑的容量。

Knee of the curve 曲线拐点 时间曲线中指数性质出现剧增的那一部分。指数增长很长一段时间内无明显增长，之后骤然剧增。这也是计算机容量发展当下的阶段。

Knowledge engineering 知识工程 设计并制造专家系统的一门艺术。具体来说，就是从各个领域的人类专家身上收集专业知识及其拓展规律，再将这些内容集合收入一个知识库或专家系统。

Knowledge principle 知识原理 强调知识在许多智能活动形式中占有重要地位的原理，该原理认为，一个系统的智能体现部分归功于其系统内存在与任务相关的详细知识。

Knowledge representation 知识表示 将人类在某个领域的知识组织转变成数据结构的系统，且转变的数据结构十分灵活，事实、规则和关系的表述都不在话下。

Law of Accelerating Returns 加速回报定律 秩序以指数级速度增加，时间也随之呈指数级速度加速（也就是说，随着时间的流逝，发生重大事件的时间间隔也越来越短）。

Law of Increasing Chaos 混沌增加定律 如果混沌呈指数级速度增长，时间将呈指数级速度减速（也就是说，随着时间的流逝，发生重大事件的时间间隔会变长）。

Law of Time and Chaos 时间与混沌定律 在一段进化过程当中，重大事件（即能够改变过程性质的事件，或能够对过程的未来产生重大影响的事件）的间隔会随着混沌的程度加长或缩短。

Laws of thermodynamics 热力学定律 描述能量转化原理及方式的定律。

热力学第一定律，又称能量守恒定律，1847年由德国物理学家赫尔曼·冯·亥姆霍兹提出，阐述了宇宙中的能量总量守恒不变。一个进化过程中能量的形式会发生改变，但封闭系统中的能量不会消失。根据此定律，我们可以衡量一个系统中的总能量、消耗的热量和该系统的效率。

热力学第二定律，又称熵增定律，1850年由德国物理学家鲁道夫·克劳修斯提出，阐述了宇宙中的熵（即粒子无序性）永不减小。并且随着宇宙无序性的增大，能量会转换成无用功，故任何自然进程的效率永远低于百分之百。

热力学第三定律，又称绝对零度定律，1906年由德国物理学家瓦尔特·能斯特根据开尔文1848年首次提出的绝对零度的概念归纳提出，阐述了绝对零度（T=0K即－273.15℃）时，所有分子停止运动；或者说，绝对零度不可能达到。

Life 生命 实体（通常为有机体）繁衍后代的能力。物体和能量能自我维持生命并继续存活的模式。

LISP（list processing） 列表处理 20世纪50年代末，麻省理工学院的人工智能研究先驱约翰·麦卡锡开发的一种计算机程序语言，用来操控指令和数据的字符串。该数据结构的主要内容是一串长度固定、有序排列的符号。因为以LISP语言编写的程序本身就是一张许多小列表组成的大列表，所以LISP语言适用于复杂递归、符号处理和自我修正密码，广泛应用于人工智能编程。但20世纪90年代的LISP已不如七八十年代时流行。

Logical positivism 逻辑实证主义 一个20世纪哲学思想学派，由奥地利哲学家路德维希·维特根斯坦在《逻辑哲学论》中提出。逻辑实证主义认为所有有意义的论述都可通过直接感官体验或分析推理（即从观察中推断）得到。

Luddite 勒德分子 19世纪初的一群英国工人，他们破坏了大量节省人工的机器以示抗议。勒德分子是第一批有组织的工业革命机械技术反对者。而今，勒德成了反对技术发展的代名词。

Magnetic resonance imaging（MRI） 磁共振成像 一种能呈现身体组织计算机化图像的无创型诊断技术，原理是利用无线电波产生的原子在人体内产生的核磁自旋。人体进入一个比普通地磁场强3万倍的磁场中，身体受无线电波的刺激，进而引起体内的电磁共振。整个过程都由计算机检测进行，最后会得到一张体内特征的高分辨率三维图像。

Massively parallel neural nets 大规模并行神经网络 由许多并行处理单元组成的神经网络。简单来说，就是一台执行自己的神经元模型的独立专设的计算机。

Microprocessor 微处理器 一块含有计算机中央处理器（CPU）的集成电路芯片。

Millions of Instructions of per Second 每秒百万指令 从计算机每秒执行百万条指令数的角度衡量计算机速度的方法。一条指令只是计算机程序所含的机器语言中一个极小的步骤。

Mind-body problem 心–身问题 即几个哲学问题：无物理实体的心智如何脱离大脑实体？大脑实体如何产生感觉和其他主观体验？再者，模拟人脑进程的机器是否能产生主观体验？另外，无物理实体的心智如何操控身体这一实体？

Mind trigger 心灵触发 大脑某一区域被刺激激发，进而引发一种感觉，这种感觉通常由现实中的生理或心理体验获得。

Minimax procedure or theorem 极小极大进程或定理 游戏软件中用到的一种基本技巧。该进程会产生博弈树（即我方与对方在对弈中可能走步的推理树状图）。之后对博弈树的“顶端之叶”进行评估，能最小化对方胜算、最大化我方胜算的走步会被选中，作为输出值从该分支顶端返回当下对弈局。

MIPS 见“Millions of Instructions per Second每秒百万指令”。

Mission critical system 关键任务系统 控制人们极其依赖进程的软件。关键任务系统的实例有医院的生命保障系统、自动外科手术设备、自动飞行和降落系统，以及其他涉及人类生活或机构运行的软件系统。

Molecular computer 分子计算机 以逻辑匣为基础、以分子机制（与电子原理相对）为原理、通过分子间特定的排列整合制造而成的

计算机。每个逻辑匣（进行逻辑判断的设备）只有一个或几个分子大小，所以由此制成的计算机也是微型的。分子计算机的局限性在于其受原子物理性质制约。通过上万亿个分子同时并行计算可实现分子计算机的大规模并行运行。现下已出现了DNA分子制造的分子计算机。

Moore ’s Law 摩尔定律 由英特尔公司前任首席执行官戈登·摩尔于20世纪60年代中期首次提出，该定律预测晶体管的体积每24个月就缩小一半，促使集成电路的计算能力随时间呈指数级速度剧增。摩尔定律还提出芯片上晶体管的数量和计算速度也会翻番，这样一来，计算能力每24个月就能翻三番。

MOSH MOSH 原人 2099年出现的新词Mostly Original Substrate Humans的首字母缩写，意为“原人”。21世纪下半叶，仍拥有碳基神经元且未有任何神经植入器加强自身的人类被称作原人。2099年，莫莉就称作者为“MOSH，原人”。

MOSH art 原人艺术 2099年，理论上是指能被原人赏析的艺术作品（通常由非原人创作），但原人不一定总能观赏到这些艺术。

MOSH music 原人音乐 2099年，音乐形式的原人艺术。

Moshism 原人主义 2099年较古板的一种说法，指神经植入器和新计算输入人脑技术出现之前原人的生活方式。如“论文”一词指表现脑力智力劳动的一种知识结构主体。

MRI 见“Magnetic resonance imaging磁共振成像”。

MYCIN 20世纪70年代美国斯坦福大学成功开发的一个专家系统，它通过确定血液中的感染体，辅助医疗工作者开药时选择恰当的抗生素。

Nanobot 纳米机器人 利用纳米技术制造的机器人。自我复制型机器人需要可移动性、智能和控制周边环境的能力，同时它需要明确停止自我复制的时机。2029年，纳米机器人将随人体血液循环流动并诊断疾病。

Nanobot swarm 纳米机器人群集 21世纪下半叶由上万亿个纳米机器人组成的群集，它可迅速形成任何形式，可投射出视觉图像、声音和任何物体的等压线，包括人类。多个纳米机器人群集能整合计算能力，进而模仿人类和其他智能实体和进程的智能。单个纳米机器人群集能有效地将制造虚拟环境的能力应用在真实环境中。

Nanoengineering 纳米工程 利用原子和分子进行产品和其他物体的设计与制造的方式；以原子为单位制造机器的过程。1纳米=10^{-9}米，相当于5个碳原子直径的长度。见“Picoengineering皮米；Femtoengineering费米”。

Nanopathogen 纳米病原体 过度自我复制的纳米机器人，这种自我复制可能永无休止，进而导致有机和非有机物体被毁坏。

Nanopatrol 纳米巡察兵 2029年，人类血液中侦察是否存在生物病原体或其他疾病的纳米机器人。

Nanotechnology 纳米技术 利用原子和分子进行产品和其他物体设计与制造的技术。1纳米=10^{-9}米，相当于5个碳原子直径的长度。

Nanotubes 纳米管 拉长型碳分子，看上去像是长长的管子，与巴基球结构类似，由同样的五边形碳原子构成。纳米管可以表现出以硅元素为基础的电脑元件所具备的电子功能，体积很小，计算密度很高。2020年摩尔定律失效时，纳米管技术可保持计算的指数级增长势头。纳米管非常坚固，也很耐热，更容易装配到三维阵列当中。

Natural language 自然语言 人类口述或笔书时使用的语言，如英语（显然与句法死板的计算机语言相去甚远）。由于语言中句法和语义的模棱两可，所以自然语言会受繁复琐碎的规则和习惯用法制约。

Neanderthal 见 “Homo sapiens neanderthal（neanderthalensis）尼安德特人”。

Neural computer 神经计算机 具有优化硬件、适用于神经网络模型的计算机，用来模拟大规模人类神经网络运作模式。

Neural connection calculation 神经连接运算 在神经网络中指一种重要运算：将神经连接的“强度”乘以该连接的输入值（同时也是另一神经连接的输出值或者是系统的初始输入值），得到的结果加上该神经网络中其他同级别连接运算的结果，算出总和。该运算执行过程高度繁复，所以需要优化的神经计算机进行该运算。

Neural implant 神经植入器 提升人类感官能力、记忆力或智能的大脑植入器，将在21世纪中后期普及。

Neural network 神经网络 人脑神经元的计算机模型。在硬件或软件内模仿人脑神经元计算结构的系统。

Neuron 神经元，神经细胞 中央神经系统的信息处理细胞。人脑中大约有1 000亿个神经元。

Noise 噪声 一串随机数据序列。出于序列的随机性和无意义性，噪声不携带任何信息。与“信息”相反。

Objective experience 客观体验 一个实体被另一个实体或测量装置观察到的过程。

OCR 见“Optical character recognition光符识别”。

Operating system 操作系统 为应用程序提供用户界面、输入输出设备和存储设备等提供管理和服务的程序。

Optical character recognition（OCR） 光符识别 机器将印刷（或手写）字符扫描、识别和编码形成数字形式的过程。

Optical computer 光学电子计算机 处理光束编码信息的计算机。与传统计算机不同的是，光学计算机处理的信息是以电子回路表示或在磁鼓面编码形成的。每束光子都能代表一串独立的数据序列，进而实现极大规模的并行运算。

Optical imaging 光学成像 一种与磁共振成像类似的大脑成像技术，但呈现的图像清晰度更高。光学成像依靠神经细胞的电流活动与毛细血管的血液循环相互作用成像。

Order 有序性 有助于达成目标的信息。衡量有序性实则在衡量信息与目标的符合程度。生命形式进化的目标是共存；遗传算法（模拟进化解决问题的计算机程序）的目标是解决问题。信息的更大量或更复杂与目标匹配度的提升并无联系。目标达成的最佳方案，即达成更高有序性所需的信息可多可少，可简单可复杂。但在进化过程中，获得更高有序性的过程总是朝着更复杂的方向发展。

Paradigm 模式，范式 解决问题的一种方法、模式或一般方式。

Parallel processing 并行处理 指内部有多个处理器同时运行的计算机，与单一处理器相反。（与“串行计算机”区分。）

Pattern recognition 模式识别 以识别、分类或对复杂输入进行分组为目的的识别模式。典型的识别输入值包括印刷字符和脸部等图

像输入，还有口述语言等声音输入。

Perceptron 感知器 20世纪六七十年代由人脑神经元的数学模型制造的机器。早期的感知器在印刷字体识别和声音识别方面都有不凡的表现，它也是当代神经网络的先驱运行者。

Personal computer 个人电脑 一种分类术语，指个人用户使用的计算机，包括一个微处理器和计算硬件与软件，可供个人进行自动化办公。

PGP 见“Pretty Good Privacy绝密隐私”。

Picoengineering 皮米工程 在皮米层面（1皮米为一万亿分之一米）进行的技术，将涉及亚原子层次的工程。

Picture portal 图片传送门 2009年时能呈现人和其他实时图像的视觉显示器。之后的数年里，传送门可以投射三维实时图景。莫莉的儿子就利用图片传送门参观了斯坦福大学。

Pixel 像素 图像元素（picture element）的缩写，电脑屏幕上携带图像信息的最小单位。像素中含有图像各个特定位置的亮度和色彩数据。

Pretty Good Privacy（PGP） 绝密隐私 菲尔·齐默尔曼设计的一种加密系统，在互联网上十分流行。PGP利用一个任何人都能自由散布的公钥对信息加密并形成一个只有信息接收者持有的私钥，接收者使用私钥才能打开上述公钥加密的信息。将公钥转化成私钥需要将大量数字分解成因子。若公钥中的比特数量足够大，传统计算方式破解这些因子需要花费相当长一段时间，这样一来就确保了信息的安全性。然而，量子计算可利用Q比特轻易破解这种加密方式。

Price-performance 性价比 以产品单位成本衡量其性能的方式。

Program 程序 指导计算机执行某一特定任务的一系列计算机指令。程序通常由C语言、FORTRAN等高级语言编写而成。人类编程员能理解并利用计算机编译程序将这些语言转换成机器语言。机器语言指一系列直接操控计算机的特殊编码。

Punch card 穿孔卡片 一种长方形卡片，以打孔的方式可记录多达80个二进制字符数。

Quantum computing 量子计算 一种基于量子物理的革命性计算方法，主要利用电子等粒子多种形态共存的性质进行计算。详见“Qu-bit Q比特”。

Quantum decoherence 量子退相干 指一个粒子的量子状态从“模棱两可”（如量子计算机中代表Q比特的电子的核自旋）到经由直接或间接的有意识观察解除这种不确定性的过程。

Quantum encryption 量子加密 利用光子等量子纠缠粒子束进行加密的方式。参见“Quantum entanglement量子纠缠”。

Quantum entanglement 量子纠缠 两个空间上分开的粒子在特殊情况下的关系。某一粒子的内部系统中的两个光子朝着相反方向运动会产生“量子纠缠”，即使运动相隔数光年，两者的量子纠缠仍然存在。在这样的前提条件下，这两个光子都被迫在两条具有相同可能性的道路中做出选择。由于两个光子之间不可能存在交流，经典物理学预言它们将独立完成自己的选择。但它们做了同样的选择，并且是立刻同时做出了同样的选择。所以，即使这两个光子之间存在不可知的交流途径，也没有足够的时间以光速把交流信息从一个光子传递到另一个光子。这两个粒子就属于量子纠缠。

Quantum mechanics 量子力学 结合几项基本发现对亚原子间相互作用进行描述的理论，其中包括马克斯·普朗克于1900年发现能量是以能量子为单位间断式被吸收或辐射的；维尔纳·海森伯格1927年提出不确定性原理，认为无法同时精确测量电子或其他粒子的位置和动量。以量子力学来看，光子投射至镜面上时，每个光子已经尝试了每一条可能的道路，不过大部分道路相互抵消了，只留下了经典物理学预测的道路。观测者的有意识观察消除了路径选择中的不确定性。

Qu-bit Q比特 即“量子比特”，用于量子计算，它的实质是0和1同时出现，直至量子退相干（由有意识的观测者直接或间接观测到的）消除每个Q比特的模棱两可性，呈现0或1的单一状态。单个Q比特同时存储0和1两个数值，N个Q比特能同时存储2^N个数值，所以一台拥有N个Q比特的量子计算机可针对一个问题同时尝试2^N种解决方案，这就是量子计算机的强大之处。

RAM 见“Random Access Memory随机存取存储器”。

Random Access Memory （RAM） 随机存取存储器 与存储器位置无关、可随时访问或改写的存储器。随机存取指的是信息存储的位置可以是任意的，并且不需要顺序访问。随机存取存储器可用于应用程序或软件在计算机中加载和运行的记忆存储。

Ray Kurzweil ’s Cybernetic Poet 雷 ·库兹韦尔的电脑诗人 雷·库兹韦尔设计的一款计算机程序，可利用递归方式进行诗歌原创。电脑诗人利用马尔可夫模型（神经网络的“近亲”）分析诗歌中词语的排列模式，并根据这些模式创造新的诗歌。

Read–Only Memory（ROM） 只读存储器 可读取但不可写入或删改的一种计算机存储器，比如只读光盘（CD-ROM）。

Reading machine 阅读机 可扫描并大声读出文本的机器。阅读机设计的初衷是为视觉障碍者提供便利，任何有阅读障碍的人士（包括诵读困难者和初学阅读的儿童）都可使用阅读机。

Recursion 递归 调用启动自身程序的过程。一般来说，递归式方案程序的每一次迭代都能提供一个较之前更简单的方案。这一过程将一直持续，直到出现一个答案已知（或可不用递归计算出的答案）的子问题出现。递归公式中需要大量惊人的符号和数学问题不断调用自身。递归常用于游戏程序，如“深蓝”计算机的棋盘对弈程序。

Recursive formula 递归公式 利用递归式搜索寻找问题解决方案的计算机编程模式。递归式搜索基于对一个问题的精确定义描述。

Relativity 相对论 该理论建立在如下两个基本共设上：（1）真空中的光速是永恒不变的，为常数C，与光源或观测者无关；（2）物理规律在所有惯性系中都具有相同的形式。由相对论可推导出质能等价原理，以及质量、维度的变化与速率上升的时间之间的等价关系。另参见“Einstein’s theory of relativity爱因斯坦的相对论”。

Relaxation Response 松弛反应 赫伯特·本森和其他研究学者在哈佛医学院和波士顿贝斯以色列医院发现的一种神经机制，与“战或逃”反应或压迫反应相对。松弛反应与肾上腺（激）素、去甲肾上腺（激）素、血压、血糖和心率的指标水平降低有关。

Remember York movement 纪念约克运动 21世纪20年代出现的一个新勒德网络讨论小组。该小组的命名是为了纪念1813年英国约克反技术运动中死去的同胞，当时那些毁坏工业机器的勒德分子纷纷被处以绞刑、关押或流放。

Reverse engineering 逆向工程 研究一个产品、程序或进程，进而理解并明确其中的方法和算法。逆向工程未来应用的例子会是将

人脑的主要计算方法扫描并复制到容量充足的神经计算机中。

RKCP 见“Ray Kurzweil’s Cybernetic Poet雷·库兹韦尔的电脑诗人”。

Robinson “鲁滨孙”计算机 世界上第一台可操作计算机，由电话继电器制造而成，以美国著名漫画家鲁滨孙（Robinson）的名字命名，因为他绘制了“鲁本·戈德堡“（Rube Goldberg）机械的雏形（这是一种外部造型华丽、内部相互牵制的机械）。“二战”期间，它几乎破解了所有纳粹机要文件，为英国军队提供了重要情报，直至被“巨人”计算机（Colossus）取代。见“Colossus巨人”。

Robot 机器人 由机械手和感应器组成、与计算机连接的可编程设备。机器人可以完成平时由人类完成的任务，并且可能速度更快、质量更好、精确度更高。

Robotics 机器人科学 设计制造机器人的科学技术，是人工智能技术和机械工程的结合体。

ROM 见“Read－Only Memory只读存储器”。

Russell’s Paradox 罗素悖论 罗素构造了一个集合S:S由一切不属于自身元素的集合所组成。然后罗素问：S是否属于S呢？受此悖论的激发，罗素要建立一个新的集合理论。

Search 搜索 一种递归式进程，其中自动问题解决者通过反复搜寻备选条目序列以找到解决方案。

Second Industrial Revolution 第二次工业革命 脑力任务而非体力任务的自动化。

Second Law of thermodynamics 热力学第二定律 又称熵增定律，阐述了宇宙中的熵（即粒子无序性）永不减小。并且随着宇宙无序性的增大，能量会转换成无用功，故任何自然进程的效率永远低于100%。

Self-replication 自我复制 能制造自身复制品的过程或设备。纳米机器人如能制造出自身的复制品，我们就能说它们是自我复制的。由于我们需要大量的（以万亿为单位的）纳米机器人执行各种功能，自我复制就成了制造这类设备必不可少的方法。

Semiconductor 半导体 指常温下导电性能介于导体与绝缘体之间的材料，常见的半导体材料有硅和锗。半导体材料常用于制作晶体管。半导体作用靠的是隧道效应。详见“Tunneling隧道效应”。

Sensorium 感觉体验馆 2019年一种全触感式的虚拟现实环境，能为用户提供全方位覆盖的触觉环境。

Serial computer 串行计算机 一次执行单次计算的计算机，两次或多次计算可依次执行，但不可同时进行（即使每次计算各自独立）。与并行处理计算机相反。

Silicon Valley 硅谷 位于美国加利福尼亚州旧金山南部，高科技创新研发的核心基地，囊括了软件、通信、集成电路和相关科技的发展。

Simple-minded school “单一心智”派 采用单一过程评估递归算法中“顶端之叶”的方法，如下棋对弈软件中，棋子价值的简单相加。

Simulated person 虚拟人 拥有真实、真人化性格和以假乱真脸部的人，能用自然语言进行交流沟通。到2019年，虚拟人将在虚拟现

实中通过视觉、听觉和触觉与真实人类互动。

Simulator 模拟程序 在计算机系统中模仿并表示某一活动或环境的程序，比如化学反应和液体流动的模拟程序，用于飞行员训练的模拟飞行器和用于外科医生练习的模拟病人。模拟程序也常用于娱乐活动。

Society of mind 心智社会 马文·明斯基提出的心智理论，认为智能是大量的其他心智经特定组合组织而成的，这些心智又是由更简单的心智构成的，以此类推，该社会的最底层则是简单的非智能机制。

Software 软件 用于计算机和计算化设备执行功能的信息和知识，包括计算机程序及其数据，广义层面上还包括该类知识的相关产品，比如书籍、音乐、图像、电影和视频等。

Software-based evolution 基于软件的进化 进化过程的软件模拟，比如托马斯·雷设计的Network Tierra软件，这些生活的“生物”即为有机物的软件模拟物，这些生物的每个“细胞”都有自己的DNA，类似基因密码。这些有机物在模拟环境中为争夺有限的空间和能量资源互相竞争。

Speaker independence 语者独立 指一个语音识别系统能够理解任何语者话语的能力，无关于先前是否识别过该语者的话语。

Stored-program computer 存储程序式计算机 程序及其运行数据一同存储在存储器中的计算机。存储程序容量对于人工智能系统来说至关重要，因为递归和自我调适密码都必须拥有存储程序。

Subjective experience 主观体验 一个实体的切身体验，与该实体（包括其内部进程）被另一实体或测量仪器观测到的体验相对。

Substrate 基底、底物 计算媒介或回路。详见“Computing medium计算媒介”。

Supercomputer 超级计算机 任一时期内最快速、最强大的计算机，用于高速度、大存储的计算（如天气数据的分析）。

Superconductivity 超导性 一些材料在低温下电阻降为零的物理现象。超导的发现使得极小或零热损耗（现下的一个限制条件）的计算能力的出现成为可能。热损耗也是制造三维电路的一大障碍。

Synthesizer 音响合成器 能实时计算信号的设备。音乐领域中指能创造生成电子声响和音乐的装置（通常基于计算机）。

Tactile virtualism 触觉虚拟 到2029年发展成熟的一种技术，它可以让用户摆脱累赘的虚拟现实设备，只需配备神经植入器（包含了高速宽带无线通信设备），即可用虚拟身躯享受虚拟现实体验。神经植入器可创造出随“真实”现实体验改变的神经信号模式。

Technology 技术 由工具创造到塑造和控制环境的演变过程。技术的含义早已超越了工具的兴起和使用，还包括工具制造和工具完善过程的记录。技术需要被发明，但它自身也是进化的一种其他方式的延续。技术进化过程的“基因密码”就是工具制造物种持有的知识库。

Three-dimensional chip 三维芯片 三维立体制造的芯片，可承载上百甚至上千层电路。现下有不少公司正在研发三维芯片。

Total touch environment 全触感式环境 可于2019年提供全方位覆盖式触觉环境的虚拟现实环境。

Transistor 晶体管 贝尔实验室的约翰·巴丁、沃尔特·布拉顿和威廉·肖克利1948年首次利用半导体制作的一种设备，具有开关和/或放大功能。

Translating telephone 翻译电话 能提供实时语音翻译的电话。

Tunneling 隧道效应 量子力学中，指电子（带负电荷）能同时存在于两个位置的能力，尤其是晶体管中的电子能够分布在障碍物的两侧。隧道效应能让电子有效地穿过障碍物，从而形成晶体管的“半”导体性质。

Turing machine 图灵机器 艾伦·图灵在其论文《论可计算的数字》中提出的计算机器简易抽象模型，为计算理论奠定了重要理论基础。

Turing Test 图灵测试 艾伦·图灵1950年提出的一种测定系统（通常为计算机）是否达到人类智能的方法，判定结果基于该系统是否能骗过人类审问者并让其相信该系统是人类。在该测试中，一位人类裁判采访了一台电脑以及一位或多位使用终端的人类用户（因此人们不会认为裁判因电脑缺乏热情的外表而对它们抱有偏见）。如果人类裁判不能识别电脑的真实面目（它们是人类的冒充者），那么电脑就获胜。但图灵并未说明许多重要的细节，比如人类判断的复杂性、面谈的时长等。到2029年，计算机将会通过图灵测试，虽然对于测试的有效性仍有争议。

Utility fog 实用雾 一个充满了Foglet机器人的空间。到21世纪末，实用雾可用于任何环境的模拟，能让真实现实也拥有虚拟现实的环境转换能力。参见“Fog swarm projection雾群投影；Foglet foglet机器人”。

Vacuum tube 真空管 基于真空玻璃容器的电子开关（或放大器）最早的形式，用于收音机等通信设备和早期计算机，后被晶体管取代。

Venture Capital 风险投资 指各个组织集结到一起为公司（主要是新兴的公司）投资的基金。

Virtual body 虚拟身躯 虚拟现实中呈现（最终可被触摸到）的躯体，可能与真实现实中不同。

Virtual reality 虚拟现实 可置身其中的一种虚拟环境。虚拟环境可为用户提供逼真的视听感受，到2019年，触觉感觉也可实现。在不久的将来，嗅觉也会被覆盖。要想在虚拟现实中拥有真实视觉体验，关键在于移动头部时，虚拟景象随之迅速重新定位后呈现不同的三维景象。虚拟现实旨在模拟人类在真实世界中转动头部时的情境，即视网膜捕捉到的情境在不断快速地变化。而人脑了解虚拟环境与真实环境保持相对静止时，头部移动而产生的景象变化仅是因为图像在视网膜上快速滑动的结果。第一代虚拟现实需要佩戴特殊的头盔以营造虚拟视听环境。到2019年，虚拟现实将摆脱累赘的设备，人们只需配备隐形眼镜式系统和视网膜成像植入器（当然还有听觉植入器）便可进入虚拟现实。发展到21世纪末，虚拟现实（此时已实现所有感官的模拟技术）可利用神经植入器通过直接神经通道刺激人脑以提供服务。

Virtual reality auditory lenses 虚拟现实听觉镜片 2019年时的一种声音设备，能在三维虚拟环境中的精确位置处投射高清晰度声音。此镜片可嵌在眼镜或珠宝中，也可直接植入人体。

Virtual reality blocking display 虚拟现实阻隔显示 2019年会出现的一种显示技术，利用虚拟现实光学镜片（见下）和虚拟现实听觉镜片（见上）营造高度真实的虚拟视觉环境。这种显示技术将真实环境阻隔在外，所以用户只可见到和听到投射的虚拟环境。

Virtual reality head–directed display 虚拟现实头部导向型显示器 2019年会出现的一种显示技术，利用虚拟现实光学镜片（见下）和虚拟现实听觉镜片（见上）投射出画面与头部位置和方向保持相对静止的虚拟环境。头部移动时，显示器会相应地显示出现实环境的相关画面。这种模式通常用于与虚拟文件的互动交流。

Virtual reality optical lenses 虚拟现实光学镜片 嵌入眼镜或隐形眼镜镜片内的三维显示器。这些“直接针对眼睛”式的显示器覆盖了“现实”环境，从而创造出一个极为真实的虚拟视觉环境。这种显示技术直接将图片投射到人眼视网膜上，成像清晰度比肉眼视觉还要高，无论佩戴者是否有视觉缺陷都可使用这一技术。1998年，“维视虚拟视网膜显示屏”（Microvision Virtual Retina Display）为军队飞行员提供了与光学镜片类似的功能。

Virtual reality overlay display 虚拟现实覆盖显示 2019年会出现的一种显示技术，利用虚拟现实光学镜片（见上）和虚拟现实听觉镜片（见上）构成真实和虚拟并存的环境。头部移动或转到另一侧时，呈现在视野中的画面也会滑动，从而保持虚拟的人、物、环境与真实环境（你仍可看见真实环境）的相对静止。因此，“直接针对眼部”式显示器呈现出一个人的画面时（他可以是一个与你相隔甚远，但正与你进行3D可视通话的真实人物，也可是计算机虚构出的一个“模拟”人物），这个投影出来的人物将处于一个特定的位置，这个位置处于你看得见的周边真实环境中。这样一来，当你移动头部时，投影出的人就显得处于真实环境中固定的位置了。

Virtual sex 虚拟性交 在结合视觉、听觉和触觉的虚拟现实环境中进行的性行为。性伴侣可为真人或是虚拟人。

Virtual tactile environment 虚拟触觉环境 给用户提供全方位触觉环境体验的虚拟现实系统。

Vision chip 视觉芯片 模拟人眼视网膜的硅片，可捕捉早期哺乳动物视觉处理过程使用的算法，这种算法被称为“中心围绕滤波”（center surround filtering）。

World Wide Web（WWW） 万维网 高度发散的（非集中的）通信网络，实现了全球各处个人和机构之间的沟通交流。沟通过程包括文本、图像、声音、视频、软件和其他形式信息的共享。万维网的基本用户界面模式是基于由“链接”连接的文件（包括任何形式的数据）组成的超文本，其中的“链接”由用户用鼠标等指针设备进行选择。万维网是一个数据信息服务器组成的系统，各服务器间通过大容量的通信链接相互连接，每位计算机用户都可使用网络浏览器和互联网访问入口获得这些链接。Windows98系统将万维网访问编入了操作系统。到21世纪末，万维网将为依靠软件的人类提供广为散布的计算媒介。

Y2K（year 2000 problem） Y2K （千年虫问题） 指软件（一般制造于2000年之前）中的年份仅用两位数表示而引发的问题。除非软件得到修正，否则遇到“××00年”时年份便会出错，例如，到2000年时显示“1900年”。

---

1. bug在英文中既意为“小虫、飞虫”，又意为“错误、漏洞”，此处一语双关。——译者注